

1000162

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



**RANCANG BANGUN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK MONITORING
LEVEL VIBRASI DAN PEMBEBANAN BANGUNAN STRUKTUR
DI BANYAK TITIK SECARA ONLINE**

Dr.Eng. Didik R. Santoso, M.Si.
Adi Susilo, M.Si., Ph.D.
Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si., MT.

Dibiayai oleh Direktorat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penugasan Penelitian Desentralisasi
Nomor: 320/SP2H/PP/DP2M/III/2008, tanggal 5 Maret 2008
Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Rancang Bangun Sistem Instrumentasi Untuk Monitoring Level Vibrasi dan Pembebanan (*Stress*) Bangunan Struktur di Banyak Titik Secara Online.
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr.Eng. Didik Rahadi Santoso
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIP : 132086158
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor / III-d
 - e. Jabaran Struktural : Kepala Lab. Fisika Dasar
 - f. Bidang Keahlian : Instrumentasi dan Pengukuran
 - g. Fakultas/Jurusan : MIPA / Fisika
 - h. Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya, Malang
 - i. Tim Peneliti

No	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Dr.Eng. Didik R. Santoso	Instrumentasi	MIPA/Fisika	Univ. Brawijaya
2.	Adi Susilo, Ph.D.	Geofisika	MIPA/Fisika	Univ. Brawijaya
3.	Wayan Firdaus, MT	Pemrograman	MIPA/Komputer	Univ. Brawijaya

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian
- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 2 tahun
 - b. Biaya total yang diusulkan : Rp. 67.000.000
 - c. Biaya yang disetujui tahun 2008 : Rp. 32.000.000

Malang, 31 Oktober 2008
Ketua Peneliti,

Mengetahui,
Dekan Fakultas MIPA

Dr.Eng. Sedyawan P. Sakti, M.Eng.
NIP. 131 879 401

Dr.Eng. Didik R. Santoso, M.Si.
NIP 132 086 158

Menyetujui,
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Brawijaya
Ketua



Prof. Dr. Ir. Siti Chuzaemi, MS.
NIP. 130 809 321

RINGKASAN

Untuk menjaga keberadaan bangunan infrastruktur seperti jembatan, gedung bertingkat, rel kereta api, pesawat terbang, kapal laut dan lain sebagainya dalam kondisi yang aman, maka harus dilakukan monitoring bangunan infrastruktur tersebut secara periodik dan terus menerus selama operasi. Tujuan dari proses monitoring ini (*structural health monitoring*, SHM) adalah untuk mendapatkan data yang mutakhir tentang kondisi strukturnya, untuk selanjutnya data tersebut digunakan sebagai salah satu parameter untuk menentukan apakah bangunan infrastruktur tersebut masih dalam kondisi yang masih aman atau tidak.

Pada saat ini sistem monitoring kesehatan struktur di Indonesia masih kurang begitu mendapat perhatian. Padahal kerugian yang ditimbulkan oleh rusaknya bangunan *infrastruktur* ini yang tidak diprediksi sebelumnya sangatlah besar. Salah satu sebab kenapa SHM tidak dapat dilakukan secara maksimal di Indonesia adalah mahalnya peralatan yang dipakai dalam sistem monitoring tersebut. Penelitian ini bertujuan merancang bangun suatu sistem instrumentasi yang sederhana, mudah dioperasikan dan murah untuk keperluan SHM. Penelitian direncanakan dikerjakan dalam dua tahap. Tahap pertama akan difokuskan pada pembangunan sistem akuisisi data dan jaringan komunikasinya, sedangkan pada tahap kedua akan difokuskan pada pengembangan dan standarisasi sensor, *data processing* dan aplikasi lapangan.

Sistem instrumentasi yang dibangun dibagi menjadi dua modul utama yaitu modul RTU (*Remote Terminal Unit*) sebagai unit sensing dan akuisisi data serta modul MTU (*Master Terminal Unit*) sebagai unit kontrol dan logger data. Unit RTU dibangun menggunakan komponen utama berupa mikrokontroler PIC 16F877, dilengkapi dengan RAM 32kByte dan *network communication interface* RS485 untuk komunikasi dengan modul MTU. Sedangkan modul MTU dibangun berbasis PC dengan penambahan rangkaian *RS232 to RS-485 converter* sebagai *interface* komunikasi ke jaringan fieldbus. Parameter fisis yang dimonitor adalah level vibrasi (getaran) dan pembebanan bangunan struktur. Sistem akuisisi datanya dibuat seumum mungkin dengan maksud untuk memudahkan pengembangan sistem, termasuk penambahan parameter-parameter fisis yang lain yang diperlukan. Sensor yang digunakan pada penelitian tahap awal ini adalah sensor piezoelektrik jenis PVDF film, dan dalam pengembangannya akan digunakan sensor vibrasi standar jenis *low frequency piezoelectric acceleration sensor*. Sensor ini sangat cocok untuk mengukur vibrasi pada

frekuensi rendah seperti yang terjadi pada bangunan struktur. Sedangkan sistem akuisisi datanya dibangun menggunakan jaringan *fieldbus multidrop* dengan arsitektur *single master multi slave*. Dengan sistem ini, maka vibrasi dan parameter-parameter fisis yang lain bangunan struktur tersebut dapat dimonitor sampai dengan 127 titik pengamatan secara online.

Dari hasil ujicoba yang telah dilakukan terhadap keseluruhan sistem instrumentasi yang telah dibangun pada tahap I ini, menunjukkan bahwa sistem telah dapat berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan, khususnya pada sistem akuisisi datanya. Sehingga sistem instrumentasi ini siap untuk diterapkan di lapangan, pada bangunan struktur yang sesungguhnya. Agar memenuhi standar dalam pengukuran level vibrasi dan pembebanan pada bangunan struktur, maka harus digunakan sensor vibrasi yang telah terkalibrasi dan terstandarisasi. Untuk itu pada tahun/tahap II hal ini akan dilakukan, termasuk juga pengembangan software untuk *signal processing*. Integrasi sistem instrumentasi ini pada jaringan internet juga merupakan topik yang menarik untuk dilakukan.

Kata kunci: *SHM, vibrasi, sensor, sistem instrumentasi*

PRAKATA

Syukur kehadiran Allah Yang Maha Kuasa atas segala nikmat yang telah dilimpahkan kepada kami, utamanya berupa kesehatan lahir dan batin, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tahunan kegiatan Penelitian Hibah Bersaing yang berjudul *Rancang Bangun Sistem Instrumentasi Untuk Monitoring Level Vibrasi dan Pembebanan Bangunan Struktur di Banyak Titik Secara Online* ini tanpa adanya kendala yang berarti. Kegiatan penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat melalui Hibah Penugasan Penelitian Desentralisasi Nomor: 320/SP2H/PP/DP2M/III/2008, tanggal 5 Maret 2008 Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional. Untuk itu kami mengucapkan terima kasih atas kepercayaannya pada kami untuk melakukan kegiatan penelitian ini.

Dalam kegiatan penelitian ini kami mencoba merancang bangun suatu sistem instrumentasi yang dapat digunakan untuk melakukan kegiatan monitoring kesehatan bangunan struktur secara online dalam bentuk yang sederhana dengan biaya yang relatif murah. Harapan kami, sistem peralatan yang masih berupa prototipe ini dapat lebih disempurnakan dan difabrikasi serta diterapkan di lapangan sehingga dapat digunakan sebagai peringatan dini tentang sistem keamanan bangunan struktur yang ada di Indonesia.

Selama melakukan kegiatan penelitian ini kami telah mendapat banyak bantuan dari berbagai pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Untuk itu kami mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut mensukseskan kegiatan ini. Semoga kerjasama ini akan terus berlanjut dimasa-masa mendatang.

Malang, Oktober 2008

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	(i)
RINGKASAN	(ii)
PRAKATA	(iv)
DAFTAR ISI	(v)
DAFTAR GAMBAR	(vi)
I. PENDAHULUAN	(1)
1.1. Latar Belakang	(1)
1.2. Perumusan Masalah	(2)
II. TINJAUAN PUSTAKA	(4)
2.1. Tinjauan Umum Sistem Instrumentasi untuk SHM	(4)
2.2. Sensor Untuk SHM	(5)
2.3. Komponen Elektronik Utama	(10)
III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	(13)
3.1. Tujuan Penelitian	(13)
3.2. Manfaat Penelitian	(13)
IV. METODE PENELITIAN	(14)
4.1. Waktu dan Tempat	(14)
4.2. Bahan dan Alat	(14)
4.3. Rancangan Penelitian	(15)
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	(23)
5.1. Hasil Rancangbangun DAQ-RTU dan Converter	(23)
5.2. Hasil Rancangbangun Sensor Vibrasi dan Pembebanan	(25)
5.3. Hasil Rancangbangun Software untuk Pemrosesan Sinyal	(28)
V. KESIMPULAN DAN SARAN	(29)
DAFTAR PUSTAKA	(30)
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Sistem pengukuran terdistribusi	(5)
Gambar 2.2: Blok diagram accelerometer dan <i>Accelerometer</i> komersial	(6)
Gambar 2.3: Sensor piezoelektrik pada pengukuran non kontak	(7)
Gambar 2.4: Sensor piezoelektrik pada pengukuran kontak	(8)
Gambar 2.5: Rangkaian ekivalen piezoelektrik	(9)
Gambar 2.6: Blok Diagram PIC 16F877	(11)
Gambar 2.7: Tipikal multidrop network RS-485 dua kawat	(12)
Gambar 2.8: Diskripsi fungsional pin dan logika akses RAM62256	(12)
Gambar 4.1: Rancangan sistem instrumentasi	(15)
Gambar 4.2: Modul RTU	(17)
Gambar 4.3: Blok diagram modul MTU	(18)
Gambar 4.4: Rangkaian RS-232 to RS-485 <i>converter</i>	(18)
Gambar 4.5: Rancangan protokol komunikasi RTU-MTU	(19)
Gambar 4.6: Rangkaian sensor piezoelektrik	(20)
Gambar 5.1: Foto Perangkat (a) DAO-RTU, (b) RS-232/ RS 485 Converter	(23)
Gambar 5.2: Setup pengujian RTU-MTU	(24)
Gambar 5.3: Hasil pengujian RTU menggunakan software yang dikembangkan	(24)
Gambar 5.4: Foto rangkaian pengondisi sinyal sensor piezoelektrik	(26)
Gambar 5.5: Pengukuran vibrasi pada <i>cantilever beam</i>	(27)
Gambar 5.6: Grafik hasil pengukuran vibrasi pada <i>cantilever beam</i>	(27)
Gambar 5.7: Sensor strain gage	(28)
Gambar 5.8: Grafik beban vs tegangan pada sensor strain gage	(28)
Gambar 5.9: Hasil pengujian software deteksi amplitudo	(29)
Gambar 5.10: Hasil pengujian software filter digital	(29)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk menjaga keberadaan bangunan infrastruktur khususnya yang digunakan oleh masyarakat banyak seperti jembatan, gedung bertingkat, rel kereta api, pesawat terbang, kapal laut dan lain sebagainya dalam kondisi yang aman, maka memonitor bangunan infrastruktur tersebut secara periodik dan terus menerus selama operasi sudah selayaknya harus dilakukan. Tujuan dari proses monitoring ini adalah untuk mendapatkan data yang mutakhir tentang kondisi struktur, untuk selanjutnya dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk menentukan apakah bangunan struktur tersebut masih dalam kondisi yang bagus/aman atau tidak [1].

Inspeksi dan monitoring rutin terhadap bangunan infrastruktur secara umum dapat dibedakan menjadi dua cara, yaitu:

- a. **Cara Tradisional:** melakukan inspeksi secara periodik (harian, bulanan, tahunan), sesuai tingkat kenyamanan yang diinginkan; umumnya ini dilakukan secara manual oleh seorang petugas. Petugas mendatangi tempat-tempat yang telah ditentukan sebelumnya untuk dicatat data-datanya. Selanjutnya data-data tersebut dianalisa untuk menentukan tindakan lebih lanjut, misalnya perlu diadakan perbaikan atau tidak, dan lain-lain. Pada metode ini, petugas bisa menggunakan alat ukur atau pengamatan dengan mata telanjang.
- b. **Cara Modern:** melakukan monitoring secara online, yaitu dengan cara meletakkan sensor pada titik-titik pengamatan yang telah ditentukan sebelumnya, dan menghubungkan sensor-sensor tersebut dengan display pengamatan. Untuk selanjutnya data-data hasil monitoring dapat disimpan dan diolah untuk proses lebih lanjut.

Dari kedua cara tersebut, cara tradisional mempunyai banyak kelemahan sehingga sudah mulai ditinggalkan. Kelemahan-kelemahan itu diantaranya adalah:

- a. Lambatnya proses pengumpulan data terutama untuk bangunan skala besar, yang mengakibatkan lambatnya tindakan yang harus diambil.
- b. Adanya titik-titik pengamatan yang sulit dijangkau oleh pengamat, sehingga ada data yang hilang pada titik-titik tersebut.

- c. Memerlukan biaya yang relatif besar untuk melakukan proses inspeksi dan monitoring secara manual.

Sistem instrumen komersial modern untuk monitoring kesehatan struktur (*structural health monitoring*, SHM) yang ada di pasaran umumnya susunannya sangat kompleks, bersifat khusus dan sehingga harganya sangat mahal. Hal inilah yang mungkin menyebabkan mengapa di Indonesia sistem monitoring kesehatan bangunan infrastruktur masih tergolong kurang begitu mendapat perhatian dari pihak yang berwenang. Padahal kalau peralatan ini dirancangbangun sendiri, sangatlah banyak keuntungan yang akan didapatkan, di antaranya adalah:

- a. Harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan yang ada di pasaran, dengan mutu yang tidak kalah bagus.
- b. Dapat dilakukan modifikasi peralatan sesuai dengan obyek yang akan kita monitor.
- c. Training pada operator dapat dilakukan oleh tenaga ahli lokal, sehingga dapat menurunkan *cost* dan memudahkan transfer ilmu dan teknologi.

Berangkat dari uraian di atas, merancang bangun sistem instrumentasi untuk SHM dalam bentuk yang lebih sederhana dan berharga murah adalah merupakan tantangan bagi peneliti di bidang sistem keamanan struktur. Penelitian ini melakukan rancangbangun suatu sistem instrumentasi untuk SHM, dengan cara melakukan monitoring vibrasi dari suatu bangunan infrastruktur yang diinginkan. Sistem dibuat se-umum mungkin dengan tujuan memudahkan modifikasi apabila diinginkan.

1.2 Perumusan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang tepat sasaran, maka dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang dan membuat suatu sistem instrumentasi untuk keperluan monitoring beberapa parameter kesehatan bangunan struktur secara online, yang sederhana, berdayaguna, murah dan mudah diperasikan.
- b. Bagaimana mengimplementasikan sistem instrumentasi pada poin (a) tersebut menjadi unit-unit atau modul-modul sensing dan akuisisi data yang selanjutnya

disebut sebagai Remote Terminal Unit (RTU) serta modul logger data dan kontrol yang selanjutnya disebut Master Terminal Unit (MTU)

- c. Bagaimana merancang dan membuat suatu protokol komunikasi data antara modul-modul RTU dan MTU.
- d. Bagaimana merancang dan membuat sensor vibrasi dan sensor pembebanan (*stress*) yang akan digunakan untuk mengukur parameter-parameter fisi tingkat kesehatan bangunan struktur.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

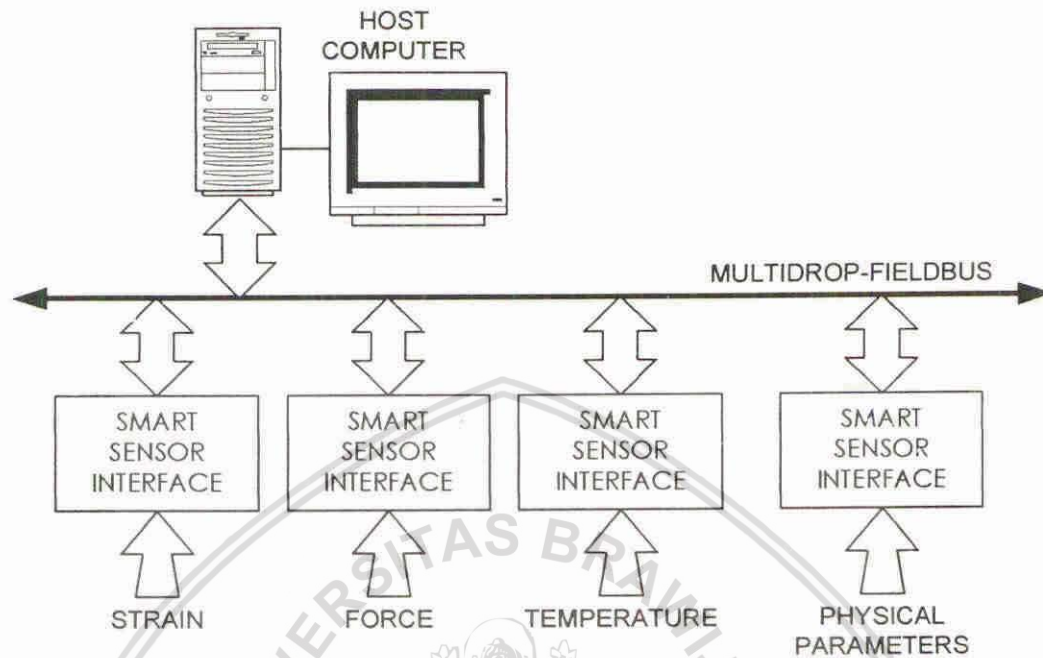
2.1 Tinjauan Umum Sistem Instrumentasi untuk SHM

Sistem monitoring kesehatan struktur (*structural health monitoring, SHM*) melingkupi bidang yang sangat luas. Jika dilihat dari aspek sistem instrumentasinya, sebuah SHM paling tidak terdiri atas tiga bagian utama, yaitu teknologi sensor (*sensor technology*), topologi akuisisi data (*data acquisition topology*), and arsitektur jaringan (*network architecture*). Teknologi Sensor berhubungan dengan peralatan pengindraan (*sensing device*), yaitu teknik dan metode-mertode yang berkenaan dengan respon struktur yang akan diukur. Akuisisi Data berhubungan dengan pencuplikan data, pengondisian dan pemrosesan sinyal. Arsitektur Jaringan berhubungan dengan bentuk (*style*) jaringan sistem instrumentasi dan bagaimana komunikasi diantara anggota-anggota jaringan tersebut dilakukan.

Sistem instrumentasi untuk SHM umumnya menggunakan sistem terdistribusi, yaitu suatu sistem yang bersifat koneksi terbuka (*open system interconnection*) dan terstandarisasi sehingga memungkinkan bermacam-macam sensor dapat dilingkupi oleh sistem satu payung [5]. Sistem ini sangat *powerfull* untuk pengukuran-pengukuran dan sistem monitoring skala besar (banyak titik). Salah satu keuntungan dari sistem ini adalah mudah untuk dikembangkan, mereduksi dan meratakan pembebanan komunikasi dan sangat mudah untuk pengukuran-pengukuran secara simultan.

Gambar 2.1 menunjukkan gambaran umum dari desain sistem pengukuran terdistribusi modern. Sistem terdiri atas smart sensor yang akan mendeteksi parameter fisis dan mengubahnya menjadi besaran listrik yang proporsional. Sensor ini dilengkapi *network interface* untuk komunikasi dengan jaringan *multidrop fieldbus*. Satu host mengirimkan perintah dan atau data kepada node yang lain yang telah di alamatkan terlebih dahulu. Host bisa berupa PC atau *microcontroller-based systems*. Sebuah sistem dengan arsitektur *single master multi slave* mempunyai hanya satu Master dan beberapa Slave. Master sebagai *device* pengontrol dan *slave* sebagai modul

sensing. Setiap slave mempunyai alamat tertentu yang unik, sehingga satu alamat hanya bersesuaian dengan satu node slave.



Gambar 2.1 Sistem pengukuran terdistribusi.

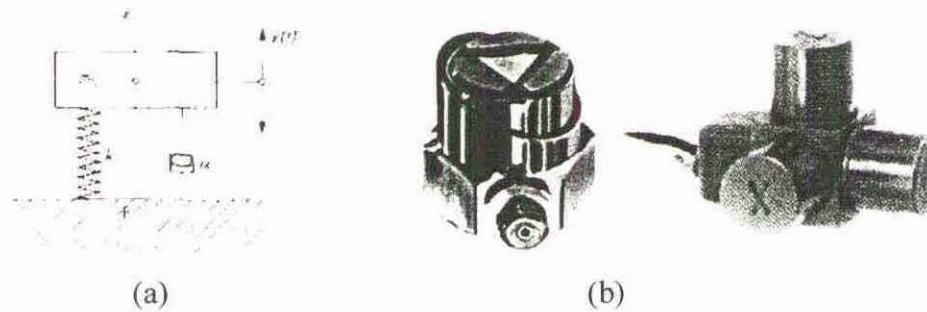
2.2 Sensor Untuk SHM

Review tentang sensor and sistem untuk SHM dapat dilihat di [2] dan [3]. Beberapa tipe sensor dan metode yang bersesuaian dengannya seperti x-ray, strain gauge, fiber optik, ultrasound, material piezoelectric, and lain sebagainya telah dikembangkan, tentu saja masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Untuk monitoring vibrasi suatu bangunan struktur, *piezoelectric based acceleration sensor* merupakan pilihan yang sering dilakukan. Sedangkan untuk mengukur *load* atau *stress* sering digunakan elemen sensor *strain gauge*.

Sensor Vibrasi

Vibrasi atau getaran mekanik umumnya diukur dengan menggunakan sensor *accelerometer* (percepatan). Transduser yang paling umum digunakan adalah *piezo-accelerometer*, yang mempunyai level akurasi sekitar 2%. Sebenarnya accelerometer sendiri juga dapat digunakan untuk mengukur parameter fisis yang lain yang masih turunan dari percepatan yakni simpangan (*displacement*) dan kecepatan (*velocity*) [5].

Gambar 2.2 adalah blok diagram fungsi kerja dari sebuah accelerometer, dan contoh-contoh accelerometer komersial yang ada di pasaran.



Gambar 2.2 Blok diagram accelerometer dan *Accelerometer* komersial (b)

Pada gambar 2.2 diatas, jika sebuah gaya luar $F(t)$ bekerja pada sistem tersebut, maka persamaan umumnya dapat dituliskan sebagai:

$$m_s \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \quad (2-1)$$

Solusi dari persamaan tersebut diatas memberikan besaran simpangan $x(t)$ yang disebabkan oleh adanya gaya luar $F(t)$. Dan selanjutnya besarnya kecepatan $v(t)$ dan percepatan $a(t)$, dapat diturunkan dan dituliskan sebagai:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad a = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (2-2)$$

Jika faktor redaman diabaikan dan menset $\alpha=0$, maka bentuk solusi umumnya, yaitu:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (2-3)$$

dimana

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_s}} \quad (2-4)$$

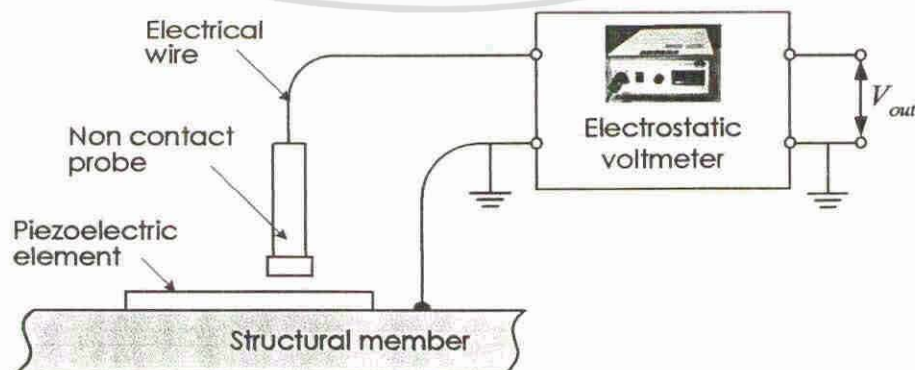
Transduser Piezoelektrik

Sejak ditemukannya efek piezoelektrik pada bahan PVDF oleh Kawai [12], material ini telah banyak digunakan dalam bermacam-macam aplikasi, khususnya sebagai sensor dan aktuator [13]. Suatu bahan piezoelektrik dapat mengubah deformasi mekanik menjadi medan listrik yang setara (*direct piezoelectric effect*), dan sebaliknya dapat mengubah medan listrik yang dikenakan padanya menjadi deformasi mekanik yang setara (*converse piezoelectric effect*) [6].

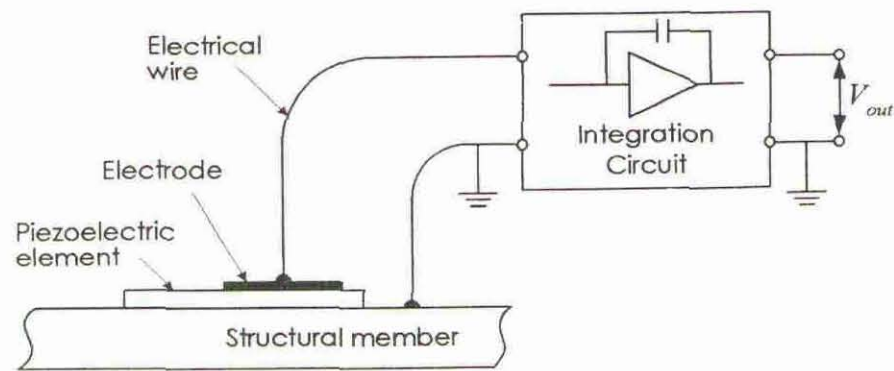
PVDF jenis lapisan tipis atau sering disebut film PVDF mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan; di antaranya adalah fleksibel, ringan, mampu bekerja pada pita frekuensi yang sangat lebar, dan juga tersedia dalam berbagai bentuk ketebalan dan luasan. Di samping itu, film PVDF dapat ditempelkan secara langsung pada material lain (misalnya bangunan struktur) dengan menggunakan bahan perekat, tanpa mengakibatkan kerusakan pada material yang bersangkutan maupun material film PVDFnya.

Prinsip kerja dari sebuah sensor piezoelektrik dapat diterangkan sebagai berikut: Apabila film PVDF terdeformasi secara mekanik, maka partikel penyusunnya akan terpolarisasi sehingga menimbulkan konsentrasi muatan listrik pada masing-masing permukaannya. Besarnya muatan listrik yang disebabkan oleh proses deformasi mekanik tersebut hanya pada orde beberapa pico coulomb ($pC = 10^{-12}C$) saja. Sehingga desain sensor dengan menggunakan material piezoelektrik memerlukan penguat sinyal.

Salah satu kegunaan dari bahan piezoelektrik adalah sebagai sensor stress atau strain (termasuk getaran mekanik). Ada dua metode yang sering dipakai untuk menggunakan piezoelektrik sebagai sensor strain, yaitu metode kontak dan metode non kontak. Pada metode non kontak (gambar 2.3), sinyal output dari film PVDF V_{out} yang berupa muatan listrik diukur dengan menggunakan *electrostatic voltmeter* yang dilengkapi dengan *non contact probe*. Pada pengukuran metode kontak (gambar 2.4), potensial listrik, V_{out} , diukur dengan melekatkan elektroda pada kedua permukaan elemen piezoelektrik, dan menyambungkannya pada rangkaian pengondisi sinyal yang umumnya berupa *charge amplifier*.

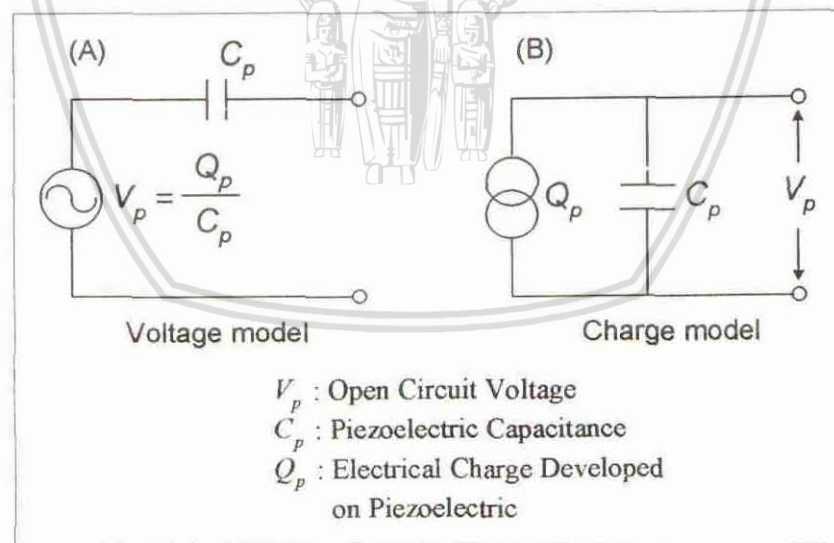


Gambar 2.3. Sensor piezoelektrik pada pengukuran non kontak



Gambar 2.4. Sensor piezoelektrik pada pengukuran kontak

Langkah awal dalam mendesain sensor piezoelektrik adalah mengerti rangkaian ekivalen listrik dari elemen piezoelektrik. Rangkaian ekivalen dari elemen piezoelektrik dapat dinyatakan dalam dua model, yaitu *charge model* dan *voltage model* seperti dinyatakan pada gambar 2.5. Pada *voltage model*, rangkaian ekivalen dari elemen piezoelektrik dipresentasikan sebagai sumber tegangan V_p seri dengan kapasitor C_p . Sedangkan pada *charge model* rangkaian ekivalennya adalah generator arus Q_p paralel dengan kapasitor C_p . Dimana Q_p proposional secara linear dengan stress yang dikenakan padanya.



Gambar 2.5. Rangkaian ekivalen piezoelektrik (A): voltage model, (B): charge model

Tegangan keluaran pada kondisi *open circuit*, kedua rangkaian diatas adalah:

$$V_p = \frac{Q_p}{C_p} \quad (2-5)$$

Kapasitor C_p merepresentasikan besarnya kapasitansi dari elemen piezoelektrik, yang mana nilainya tergantung pada permitivitas bahan, area dan ketebalan elemen piezoelektrik, yang dinyatakan oleh:

$$C_p = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A_p}{t_p} \quad (2-6)$$

dimana: ϵ_0 : permitivitas vakum (8.854×10^{-12} F/m)

ϵ_r : permitivitas bahan piezoelektrik

A_p : luas elemen piezoelektrik

t_p : tebal elemen piezoelektrik

Sensor Strain gauge

Regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perpanjangan per satuan panjang dan dinyatakan sebagai persamaan 2.7

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.7)$$

Regangan adalah besaran yang tidak berdimensi, dan hubungan antara tegangan dan regangan dinyatakan sebagai persamaan 2.8

$$\sigma = E\epsilon \text{ atau } E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.8)$$

Persamaan tersebut disebut sebagai hukum hooke yang menyatakan bahwa tegangan berbanding lurus dengan regangan, di mana tetapan pembanding adalah E. Tetapan E ini disebut modulus young, E mempunyai satuan tegangan yang di dalam SI dinyatakan sebagai Newton per meter kuadrat (atau pascal).

Strain gauge (gage) adalah tranduser pasif yang mengubah suatu pergeseran mekanis menjadi perubahan tahanan. *Strain gage* merupakan sebuah alat seperti biskuit tipis (*wafer*) yang dapat disatukan (*bonded*) ke berbagai bahan guna mengukur regangan yang diberikan padanya. Tahanan akan berubah terhadap panjang jika bahan mengalami tarikan atau tekanan (kompresi). Perubahan tahanan ini sebanding dengan

regangan yang diberikan. Sensitivitas sebuah *strain gage* dijelaskan dengan suatu karakteristik yang disebut faktor *gage* (*gage factor*) K , yang didefinisikan sebagai perubahan suatu tahanan dibagi dengan perubahan satuan panjang

$$\text{Faktor } gage (K) = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \quad (2.9)$$

dimana:

K = faktor *gage*

R = tahanan *gage* nominal

ΔR = perubahan tahanan *gage*

l = panjang normal bahan percobaan (kondisi tidak teregang)

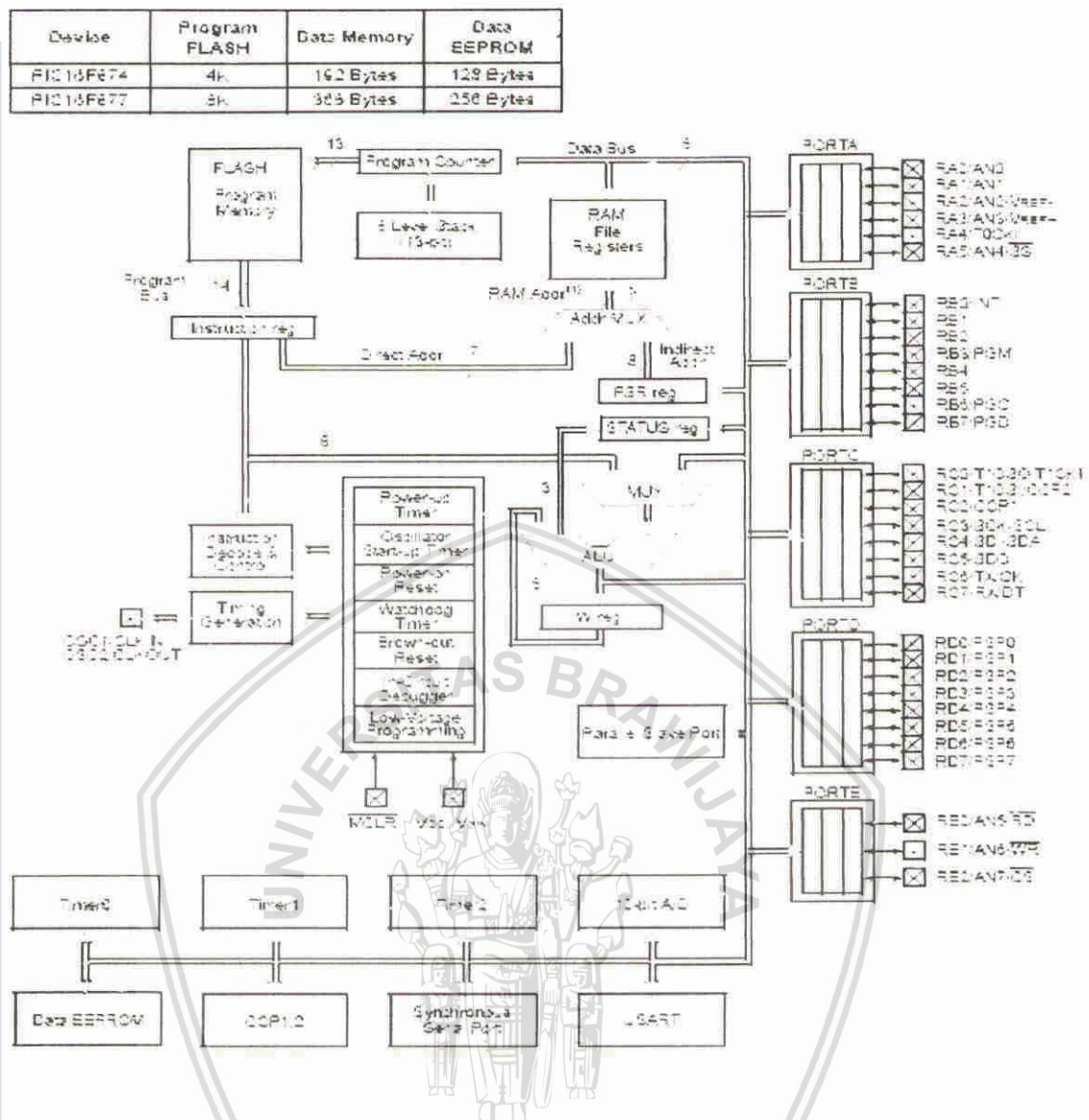
Δl = perubahan panjang bahan percobaan

2.3 Komponen Elektronik Utama

Mikrokontroler PIC 16F877

Pemanfaatan mikrokontroler untuk membangun suatu sistem instrumentasi dewasa ini telah banyak dilakukan [7,8]. Implementasi mikrokontroler ke dalam rancangan hardware akan menaikkan kapabilitas dan menyederhanakan sistem yang dibentuk. Keuntungan penggunaan mikrokontroler sebagai komponen utama sistem instrumentasi adalah dimensinya yang kecil, dapat diprogram, *simple*, *reliable* dan harganya yang relative murah.

Mikrokontroler PIC16F877 adalah sebuah mikrokontroler jenis *midrange* keluaran Microchip. Mikrokontroler ini merupakan mikrokontroler dengan arsitektur RISC yang mempunyai beberapa *features* di dalamnya diantaranya adalah delapan buah ADC internal dengan resolusi 10 bit, tiga buah TIMER, sebuah Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART), 8K x 14 *words flash program memory*, 368 x 8 byte RAM dan masih banyak lagi [10]. Blok diagram mikrokontroler ini diberikan pada gambar 2.6.

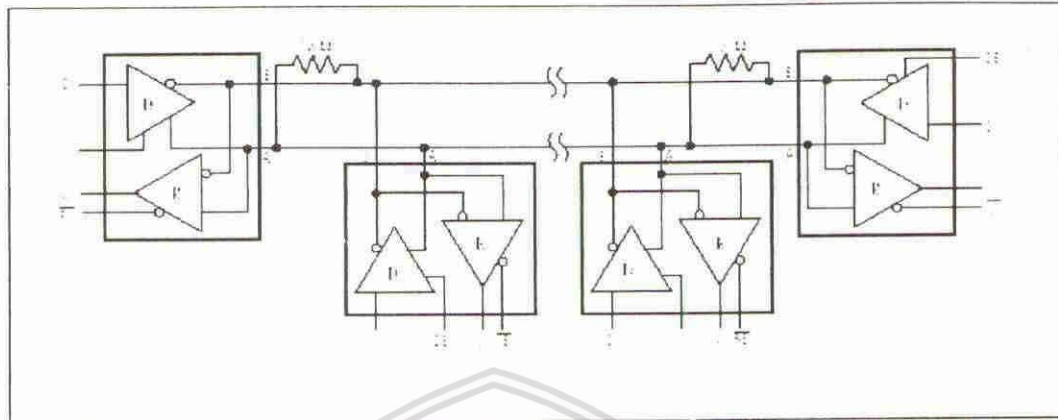


Gambar 2.6 Blok Diagram PIC16F877

NIC RS-485: MAX485E

Salah satu hal yang paling penting dalam komunikasi data adalah adanya *network interface communication* (NIC). Salah satu jenis NIC yang sering dipakai untuk membentuk jaringan multidrop adalah IC MAX485E dari Maxim Semiconductor. MAX485E merupakan *low-power transceivers* untuk komunikasi RS-485 dan RS-422. IC MAX485E mempunyai sebuah bagian *driver* dan sebuah bagian *receiver*. *Slew rate* dari *driver* MAX485E hampir tidak terbatas dan mampu mentransmisikan data sampai dengan laju 2.5 Mbps. MAX485E dirancang untuk komunikasi *half duplex*, yang mampu mengatasi sampai 32 node dengan rentang

komunikasi sampai dengan 1200m. Gambar 2.7 adalah diagram RS-485 dua kawat untuk komunikasi data *half duplex*.



Gambar 2.7. Tipikal multidrop network RS-485 dua kawat

Memori: RAM 62256

RAM 62256 berfungsi sebagai penyimpanan sementara data-data hasil cuplikan dari kanal-kanal analog sebelum ditransfer ke sistem atau peralatan lain. Kapasitas maksimum RAM tipe 62256 adalah 32 kbyte. Untuk dapat mengakses RAM ini, pin \overline{CS} dikontrol oleh mikrokontroler. Diskripsi fungsional pin dan logika akses devais ini diberikan pada Gambar 2.8.

A14	1	28	V_{CC}
A12	2	27	\overline{WE}
A7	3	26	A13
A6	4	25	A8
A5	5	24	A9
A4	6	23	A11
A3	7	22	\overline{OE}
A2	8	21	A10
A1	9	20	\overline{CS}
A0	10	19	I/O7
I/O0	11	18	I/O6
I/O1	12	17	I/O5
I/O2	13	16	I/O4
V_{SS}	14	15	I/O3

Pin Description	
Symbol	Function
A0 – A14	Address
I/O0 – I/O7	Input/output
\overline{CS}	Chip select
\overline{WE}	Write enable
\overline{OE}	Output enable
NC	No connection
V_{CC}	Power supply
V_{SS}	Ground

Gambar 2.8. Diskripsi fungsional pin dan logika akses RAM62256

BAB. III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun suatu sistem instrumentasi untuk keperluan monitoring kesehatan struktur (SHM) yang sederhana, murah dan mudah dioperasikan. Sistem instrumen yang dibangun berfungsi untuk mengukur dan menyimpan data pengukuran (yaitu vibrasi dan pembebanan/*stress*) di banyak titik bangunan struktur secara online. Secara lebih khusus tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membuat suatu sistem instrumentasi berbasis jaringan terdistribusi fieldbus multidrop yang terdiri atas beberapa modul *Remote Terminal Unit* (RTU) dan sebuah *Master Terminal Unit* (MTU), baik hardware maupun software, yang dapat dioperasikan secara online.
2. Merancang dan membuat sensor vibrasi (getaran) dari bahan piezoelektrik beserta pengondisi sinyalnya yang dapat diaplikasikan untuk mengukur getaran struktur.
3. Merancang dan membuat sensor pembebanan (*stress*) dari elemen strain gage beserta pengondisi sinyalnya yang dapat diaplikasikan untuk mengukur besarnya pembebanan bangunan struktur.
4. Merancang dan membuat sistem basis data untuk data-data pengukuran.
5. Mencontoh aplikasikan sistem instrumentasi yang telah dibuat untuk kegiatan monitoring besarnya level vibrasi dan pembebanan suatu bangunan struktur.

3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan ini adalah tersedianya suatu sistem instrumentasi yang dapat digunakan untuk kegiatan monitoring secara online kesehatan bangunan struktur yang sederhana, mudah dioperasikan dan murah. Dengan adanya sistem ini diharapkan kegiatan monitoring kesehatan bangunan struktur (di Indonesia) khususnya bangunan yang berhubungan dengan masyarakat banyak dapat dilakukan, sehingga memberikan jaminan dan rasa aman bagi masyarakat pengguna.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dalam jangka waktu 2 tahun (dua tahap), Tahun pertama dimulai awal Mei 2008 sampai dengan akhir Desember 2008, dan tahun kedua direncanakan pada awal Maret 2009 sampai dengan akhir Desember 2009.

Untuk proses rancangbangun sistem instrumentasi, penelitian dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Pengukuran Jurusan Fisika Universitas Brawijaya. Sedangkan untuk cor'oh aplikasinya dilakukan di suatu salah satu tempat bangunan struktur di sekitar kampus Universitas Brawijaya Malang.

4.2 Bahan dan Alat

Bahan habis pakai yang digunakan untuk penelitian ini sebagian besar adalah komponen elektronik, yaitu:

- Material piezoelektrik berupa film PVDF
- Sensor strain gage
- Komponen elektronika analog untuk pengkondisi sinyal seperti Op-Amp, Dioda, komponen pasif RC, dan laian-lain.
- IC Mikrokontroler, IC memori, Latch, dan lain-lain untun membangun sistem akuisisi data.
- Komponen penunjang lainnya seperti soket, kabel, dan lain-lain.

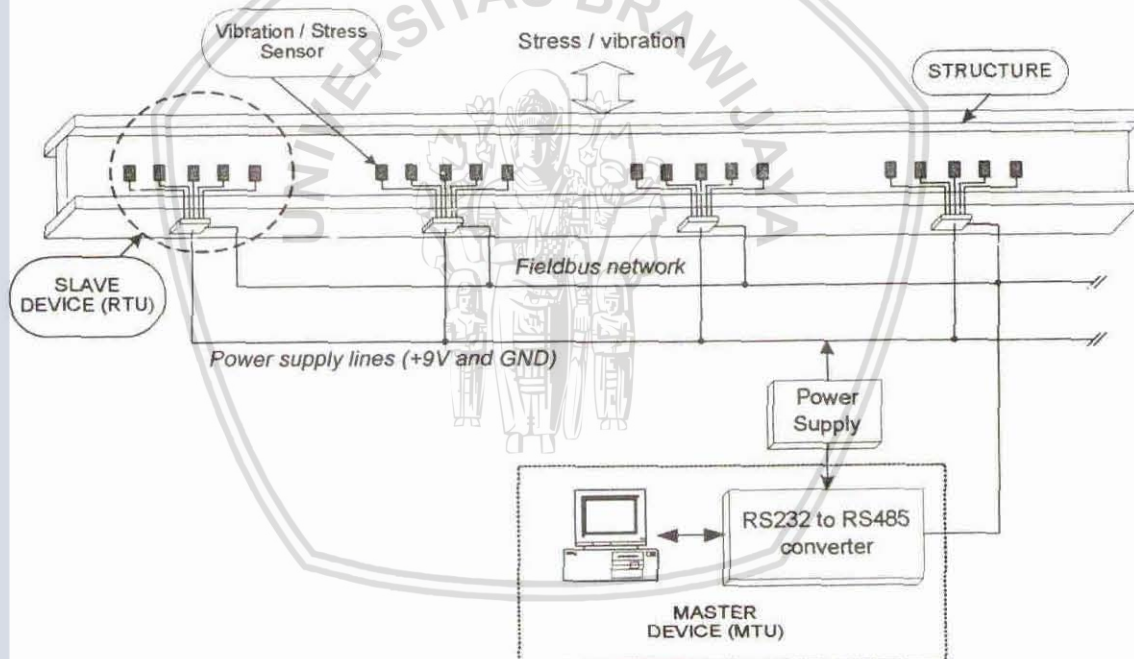
Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah komputer yang dilengkapi (diinstall) dengan software desain elektronika seperti Circuitmaker, Protel atau yang lainnya. Juga bahasa pemrograman Delphi (versi 7). Disamping itu juga dperlukan peralatan untuk etching PCB, pemrograman mikrokontroler dan kalibrasi sensor. Peralatan-peralatan tersebut antara lain:

- Peralatan Etching
- PIC Flash Programmer
- Osiloskop digital, multimeter dll.
- Vibrator (untuk kalibrasi sensor dan sistem)

4.3 Rancangan dan Langkah Penelitian

Sistem Instrumentasi yang dikembangkan pada penelitian ini adalah seperti dinyatakan pada gambar 4.1. Sistem dibangun atas modul-modul dan terdiri atas sebuah modul MTU, dan beberapa modul RTU. Komunikasi antara modul MTU dan modul RTU dilakukan dengan menggunakan protokol komunikasi *fieldbus multidrop network* RS-485, yang merupakan jaringan komunikasi *multi point*, yang mampu mengatasi sampai 127 RTU dengan rentang komunikasi sampai dengan 1200m, *halfduplex* maupun *full-duplex*.

Dalam rancangan ini, MTU dibuat berbasis PC dengan tambahan *device* antarmuka berupa *RS-232 to RS-485 converter*. *Device* ini diperlukan untuk membuat PC agar dapat digunakan sebagai peralatan komunikasi *multi points*. Sedangkan RTU dibuat berbasis sebuah mikrokontroler PIC 16F877.



Gambar 4.1: Rancangan sistem instrumentasi

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian akan dilakukan hal-hal sebagai berikut:

(A) Merancang dan membuat modul RTU , meliputi:

1. Merancang dan membuat sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler, baik hardware maupun software.

2. Merancang dan membuat *network interface card* (NIC), multidrop RS-485.
3. Merancang dan membuat sensor vibrasi dari material piezoelektrik (film PVDF), termasuk pengkondisi sinyalnya.
4. Merancang dan membuat sensor pembebanan (*stress*) termasuk pengkondisi sinyalnya.
5. Melakukan ujicoba dan validasi sistem (1-4), serta perbanyak modul RTU (4 modul), dan melakukan identifikasi alamatnya.

(B). Merancang bangun modul MTU dan jaringan multidrop

1. Merancang bangun modul MTU, dengan komponen utama sebuah PC dan sebuah kartu antarmuka (*interface*) berupa *RS-232 to RS-485 converter*.
2. Melakukan integrasi modul-modul RTU dan MTU untuk membentuk jaringan multidrop serta melakukan validasinya

(C). Membuat sistem basis data untuk jaringan multidrop RS-485 untuk pengukuran besaran fisis terdistribusi secara online

1. Mendesain sistem basis data dengan bahasa pemrograman Delphi dan mengaplikasikan sistem tersebut untuk pengukuran online *multi point* dengan jaringan multidrop RS-485.
2. Aplikasi sistem pada skala laboratorium.

(D). Penyesuaian sistem dan aplikasi lapangan (tahap II)

1. Survey lapangan (objek yang sesungguhnya)
2. Penyusunan kembali modul-modul RTU sesuai keperluan lapangan.
3. Penyesuaian dan standarisasi jenis sensor, khususnya sensor vibrasi.
4. Penyusunan kembali sistem secara keseluruhan, terutama sistem basis data.
5. Pembuatan dan pengembangan software untuk memproses data pengukuran

Berikut ini rancangan penelitian secara lebih detail yang dilaksanakan pada tahap I.

Perancangan Modul RTU

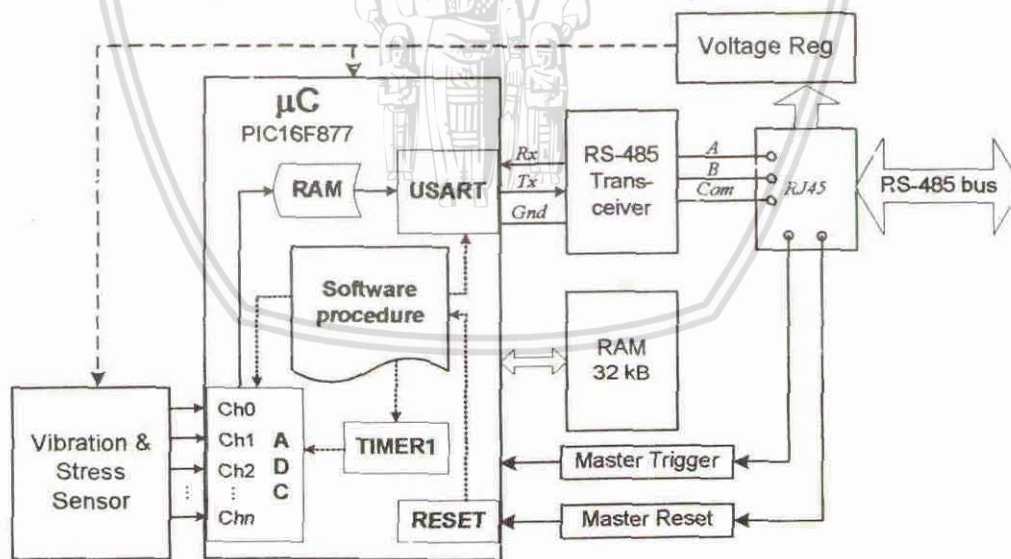
RTU memegang peranan yang penting pada sistem sebagai elemen sensing. Modul RTU dapat dibagi menjadi 2 blok fungsi yaitu sensor dan data akuisisi. Dalam rancangan ini ada dua jenis sensor yang digunakan yaitu sensor vibrasi dan sensor stress. Sensor vibrasi dibuat dari elemen utama berupa material piezoelektrik jenis film

PVDF. Sedangkan sensor stress dibuat dengan menggunakan elemen utama strain gage. Sistem akuisisi data dirancang berbasis pada sebuah mikrokontroler PIC16F877 sebagai komponen utamanya dan IC MAX485E sebagai *network communication interface*-nya.

Selanjutnya alur kerja dari RTU dirancang sebagai berikut:

- Sensor vibrasi dan stress mendeteksi adanya vibrasi dan stress pada bangunan struktur, mengubahnya menjadi tegangan listrik. Tegangan listrik sebagai output dari sensor ini dikondisikan oleh pengondisi sinyal pada harga 0-5 volt. Dimana 0 volt menunjukkan getaran atau stress minimum dan 5 volt mewakili getaran atau stress maksimum.
- Modul sistem akuisisi data akan mengubah tegangan analog menjadi digital sampai dengan beberapa kanal secara simultan, yang alur kerjanya akan dikontrol sepenuhnya oleh prosedur program yang telah dituliskan/diisikan ke dalam chip mikrokontroler.
- *Network communication interface* ditangani oleh IC MAX485E untuk komunikasi pada jalur *fieldbus* RS-485.

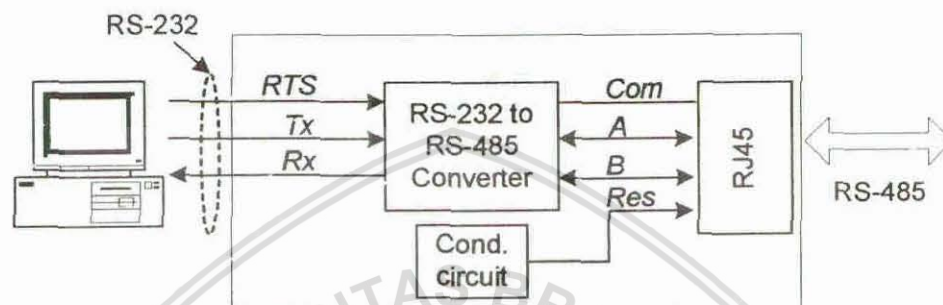
Gambar 4.2 adalah rancangan modul RTU yang akan dibuat.



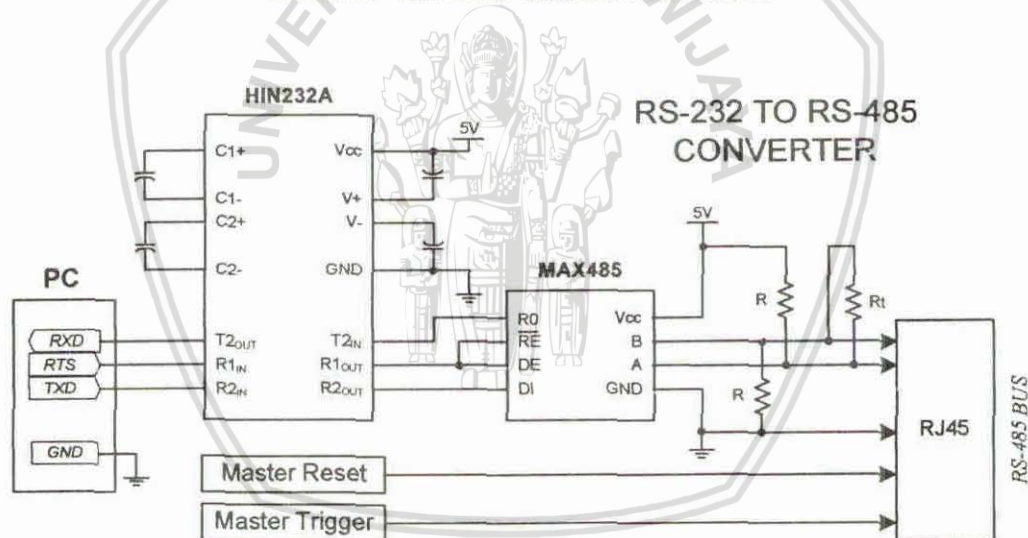
Gambar 4.2: Modul RTU

Perancangan modul MTU

MTU adalah unit pengontrol. MTU menangani beberapa hal diantaranya adalah konfigurasi sistem, memegang aktivitas pengendalian dan sebagai unit penyimpan dan pengolahan data dan juga sebagai penampil. Hardware dari modul MTU adalah sebuah PC standart yang dilengkapi dengan antarmuka *RS-232 to RS-485 converter*. Gambar 4.3 adalah blok diagram modul MTU dan gambar 4.4 adalah rangkaian *RS-232 to RS-485 converter* yang dibangun.



Gambar 4.3: Blok diagram modul MTU

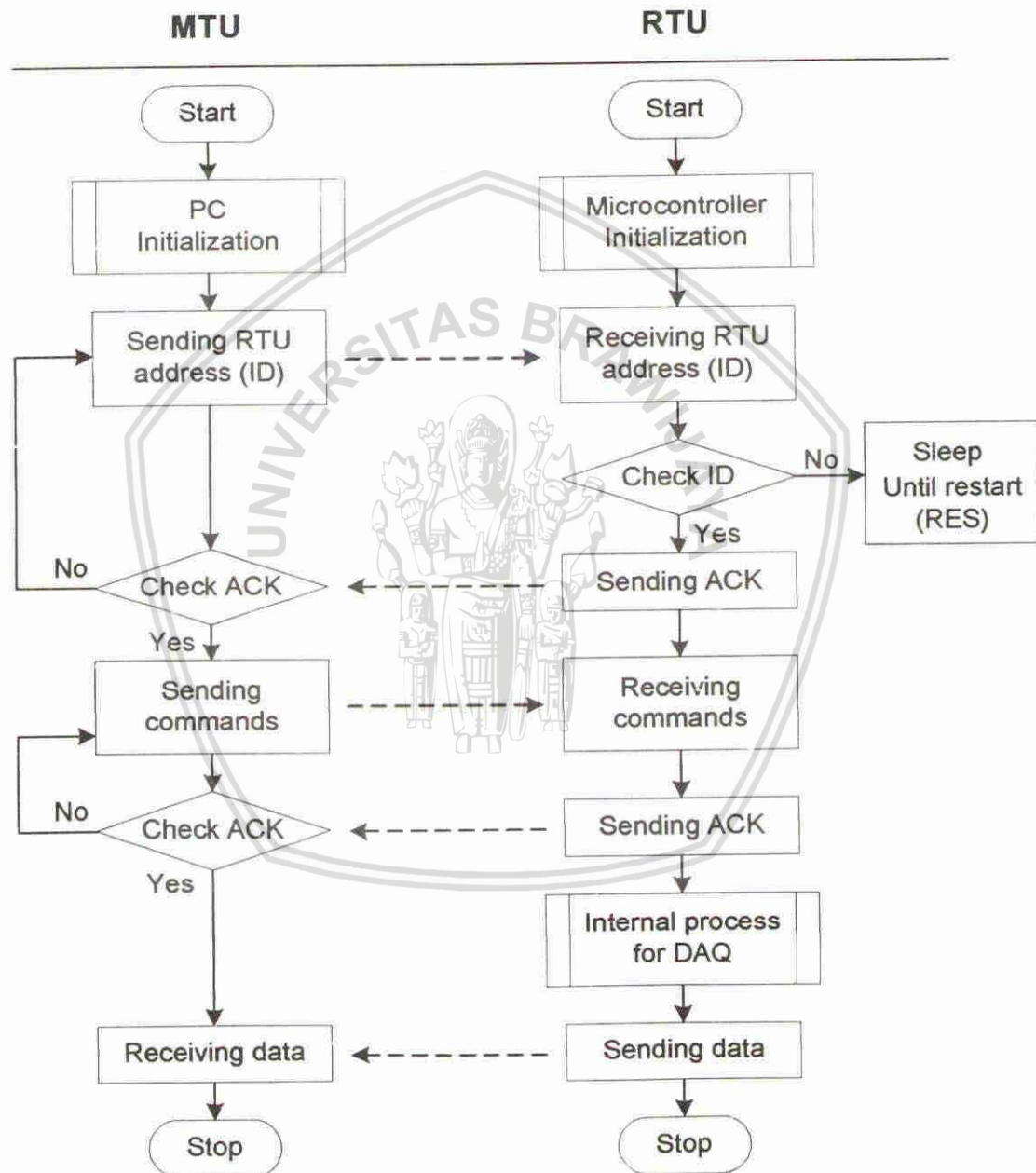


Gambar 4.4: Rangkaian RS-232 to RS-485 converter

Dalam prosedur komunikasi *halfduplex*, organisasi pengiriman dan penerimaan data harus diatur untuk mengatasi konflik selama komunikasi berlangsung. Sehingga sistem harus mempunyai sebuah driver yang berfungsi untuk mengatur arus data kapan harus mengirim dan menerima. Dalam desain ini, hal ini akan ditangani oleh suatu sinyal RTS dari port serial komputer dan pengontrolannya akan dilakukan oleh program.

Rancangan protokol komunikasi MTU-RTU

Dalam prosedur komunikasi RS-485 MTU-RTU, MTU sepenuhnya mengontrol proses komunikasinya. Prosedur komunikasi selengkapnya dinyatakan dalam flowchart pada gambar 4.5. Setiap RTU mempunyai satu alamat tertentu dan hanya merespon perintah yang ditujukan kepadanya. Jika perintah-perintah tersebut bukan untuk dirinya, maka dia akan mengabaikannya.

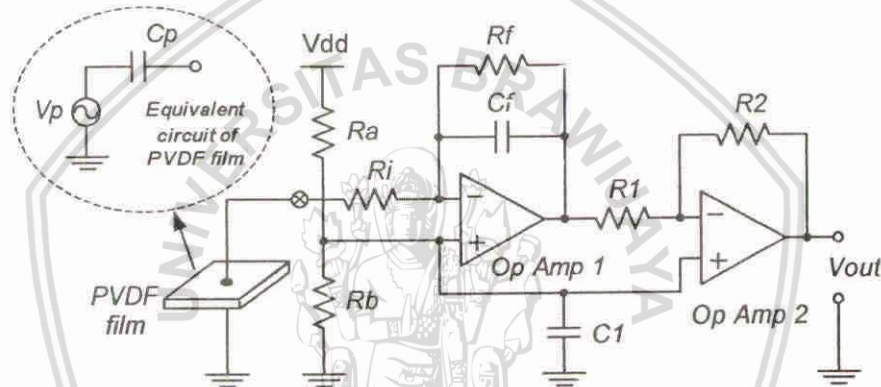


Gambar 4.5. Rancangan protokol komunikasi RTU-MTU.

Rangkaian Sensor Piezoelektrik

Sebuah transduser piezoelektrik mempunyai karakteristik impedansi output yang tinggi, sehingga dalam penerapan sebagai sensor dalam proses pengukuran, transduser piezoelektrik memerlukan sebuah rangkaian pengondisi sinyal yang berfungsi menurunkan impedansi outputnya (sekalius berfungsi sebagai penguat dan filter). Ada dua jenis rangkaian pengondisi sinyal yang sering digunakan dalam kasus ini, yaitu *voltage mode amplifier* dan *charge mode amplifier*. Namun demikian *charge mode amplifier* umumnya lebih diminati karena kelebihanannya dalam hal sensitivitas sistem dan mereduksi kapasitansi yang disebabkan oleh panjangnya kabel.

Rangkaian sensor piezoelektrik yang dikembangkan pada penelitian ini adalah seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Rangkaian sensor piezoelektrik

Besarnya tegangan output dari rangkaian sensor piezoelektrik pada gambar 4.6 dapat dituliskan sebagai:

$$V_{out} = \left[\left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{C_p}{C_f} \right) \frac{1}{\left(1 + j \frac{\omega}{\omega_2} \right) \left(1 + \frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_1}} \right)} \right] V_p + \left(\frac{R_b}{R_a + R_b} \right) V_{dd} \quad (4-1)$$

dengan:

$$\omega_1 = \frac{1}{R_f C_f} \quad \text{and} \quad \omega_2 = \frac{1}{R_i C_p}$$

dimana

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_f C_f}, \quad \text{low cut-off frequency} \quad (4-2)$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_{in} C_p}, \quad \text{high cut-off frequency} \quad (4-3)$$

Besarnya tegangan output rangkaian sebelum *cut-off* adalah:

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{C_p}{C_f} \right) V_p + \left(\frac{R_b}{R_a + R_b} \right) V_{dd} \quad (4-4)$$

Untuk $R_a = R_b$ maka:

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{C_p}{C_f} \right) V_p + \frac{V_{dd}}{2} \quad (4-5)$$

Perancangan Perangkat Lunak Pemroses Sinyal

Perangkat lunak diperlukan paling tidak untuk dua hal, yaitu untuk pengendali sistem perangkat keras (*hardware system driving*) dan untuk pemroses sinyal (*signal processing*). Pengendali perangkat keras berhubungan dengan pengorganisasian dan sinkronisasi perangkat keras. Sementara pemroses sinyal melingkupi mengatur penampilan numeris dan grafis serta pemrosesan data (*data processing*). Sehubungan dengan perangkat yang digunakan, kami mengembangkan dua jenis perangkat lunak pengendali sistem. Yang pertama adalah perangkat lunak untuk mikrokontroler dan yang kedua adalah perangkat lunak untuk PC. Perangkat lunak untuk mikrokontroler dipakai untuk pengendali sistem seperti aktivasi I/O (input/output) dan pengaturan memori. Sedangkan perangkat lunak untuk PC digunakan untuk mengatur perangkat keras dan juga pemroses sinyal. Perangkat lunak untuk mikrokontroler dibuat dengan menggunakan *MPLAB-V6.20-PICMicro assembly code*, sedangkan perangkat lunak untuk PC dibuat dengan menggunakan *Delphi Studio versi 7*.

Penentuan amplitudo sinyal

Prosedur untuk menentukan amplitudo sinyal dilakukan dengan prinsip deteksi puncak maksimum dan minimum dari sinyal ke- i dan membandingkannya dengan sinyal ke- $i+1$. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

```

Procedure amplitudes calculation;
Begin
For all channels;
  V_max = 0; V_min = 5;
  For i=1 to Maximum data
    if Data[i] > V_max then V_max = Data[i];
    if Data[i] < V_min then V_min = Data[i];
  End;
  Amplitude = V_max - V_min;
End;

```

Penentuan Frekuensi Sinyal

Dalam bidang pemrosesan sinyal, untuk merubah dari domain waktu ke domain frekuensi umumnya dilakukan dengan menggunakan transformasi fourier, salah satunya adalah transformasi fourier diskrit (*Discrete Fourier Transform, DFT*). Aturan DFT adalah: “ N real data value in the time domain transform by DFT to N complex data value in the frequency domain, the DFT value $X(k)$ is given by” [12]:

$$R(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cos(kn\Omega T), \text{ and } I(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \sin(kn\Omega T) \quad (4-6)$$

dengan melakukan normalisasi kita dapatkan

$$|X(k)| = \frac{1}{N} [R^2(k) + I^2(k)]^{\frac{1}{2}} \quad (4-7)$$

Persamaan (4-7) adalah rumus untuk mengubah sebuah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dengan cara DFT.

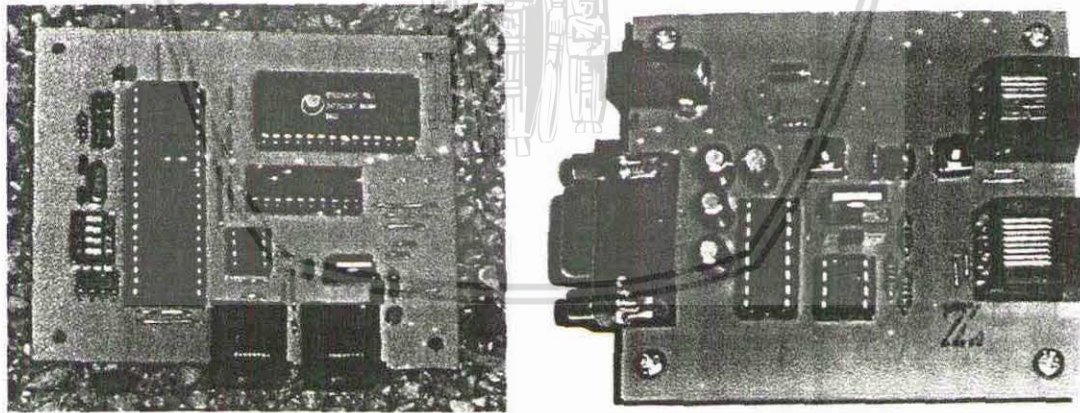
BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Rancangbangun DAQ-RTU dan Converter

Bentuk perangkat keras dari rancangan DAQ-RTU yang telah dihasilkan diberikan pada gambar 5.1(a). Seperti telah dijelaskan di depan, perangkat ini disusun atas komponen utama berupa sebuah mikrokontroller PIC16F877, sebuah RAM 32 kB dan sebuah NIC MAX485. Tampak pada gambar diatas sebuah selektor DIP empat kanal (bit) yang berfungsi untuk memilih alamat RTU. Dari kombinasi selektor digital tiga bit ini kita dapat mengalami sampai dengan 16 buah RTU.

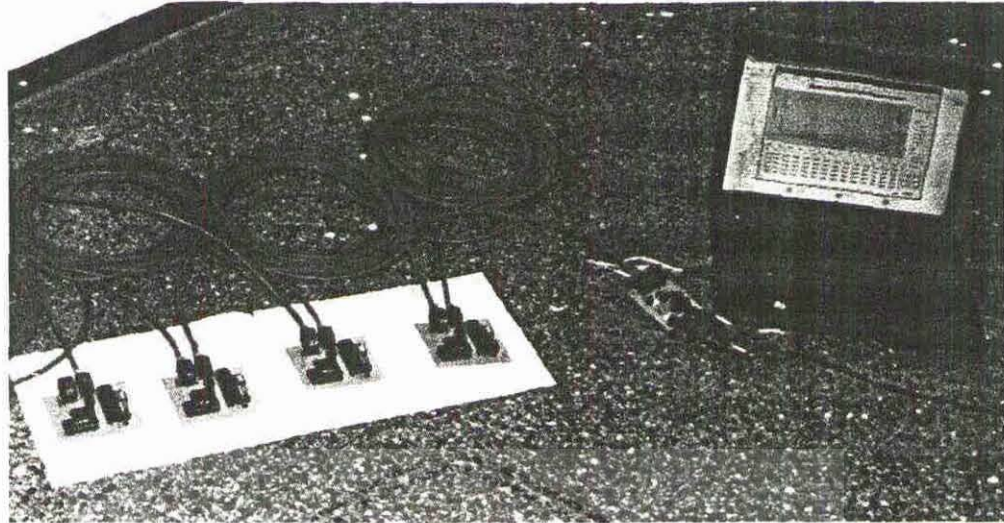
Sedangkan hasil rancang bangun rangkaian converter RS232 to RS485 diberikan pada gambar 5.1(b). Pada perangkat ini nampak konektor serial DB9 sebagai konektor sinyal data dan kontrol ke komputer dan konektor RJ45 untuk konektor sinyal data dan kontrol ke jaringan RS-485. Dua buah IC yang terdapat pada perangkat tersebut adalah IC HIN232 sebagai RS-232 transceiver dan MAX485 sebagai converter standar dari RS232 ke RS485.



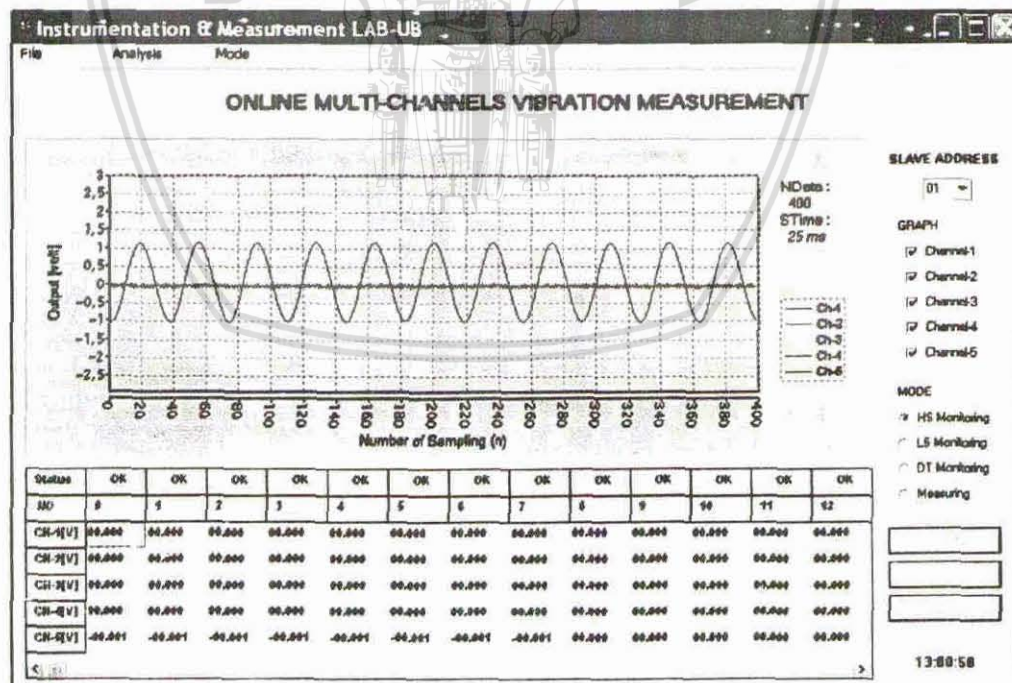
Gambar 5.1. Foto Perangkat (a) DAQ-RTU, (b) RS-232/ RS-485 Converter

Ujicoba perangkat ini harus dilakukan secara bersama-sama karena keduanya saling melengkapi dan terikat protokol komunikasi satu dengan yang lainnya. Untuk pengujiannya juga diperlukan perangkat lunak bantu yang berfungsi sebagai kontrol

perangkat keras dan *user interface*, yang harus diinstal ke komputer. Setup pengujian diberikan pada gambar 5.2.



Pengujian dilakukan dengan menggunakan sinyal generator sebagai analogi dari sensor, dan hasilnya langsung ditampilkan ke komputer. Hasil pengujian perangkat ini dengan menggunakan perangkat lunak yang telah dikembangkan diberikan pada gambar 5.3.



Gambar 5.3. Hasil pengujian RTU menggunakan software yang dikembangkan

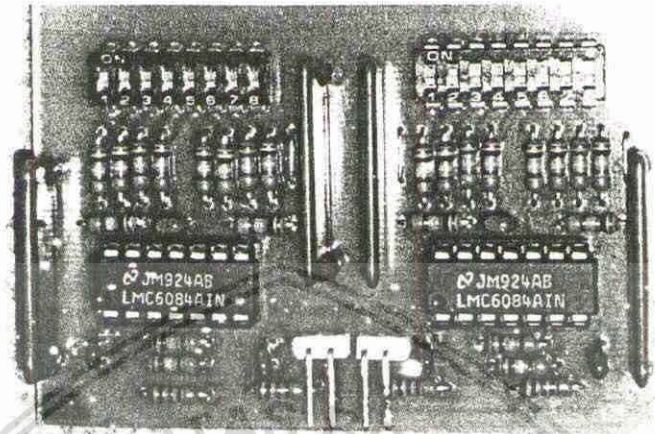
Grafik sinyal yang tampak pada gambar 5.2 tersebut ada lima buah yang menunjukkan pengukuran simultan lima buah masukan analog. Walaupun ada lima masukan analog namun yang digunakan atau dihubungkan dengan sinyal generator hanya satu chanel sehingga sinyal yang nampak hanyalah satu dan yang lain berharga nol. Hal lain yang perlu diperhatikan pada gambar tersebut, yaitu amplitudo sinyal yang bersilasi dari -2,5 volt ke 2,5 volt. Ini adalah merupakan manipulasi software, sebab pada kenyataannya sebuah mikrokontroler tidak pernah bisa mendeteksi tegangan negatif. Metodenya adalah menaikkan level tegangan analog terukur dengan faktor 2,5 volt dengan cara memberikan ofset DC pada rangkaian pengondisi sinyal. Jadi jika tegangan yang terukur 0 volt maka keluaran dari pengondisi sinyal adalah 2,5 volt. Jika yang terukur 2,5 volt maka keluarannya adalah 5 volt. Dengan demikian peralatan ini mempunyai range kerja dari -2,5 volt sampai 2,5 volt.

5.2 Hasil Rancangbangun Sensor Vibrasi dan Pembebanan

Rancangan sensor piezoelektrik yang diberikan di depan sebelum diimplementasikan dalam bentuk *printed circuit board* (PCB) terlebih dahulu dilakukan simulasi dengan menggunakan program simulasi rangkaian elektronik. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui watak atau karakteristik dari rangkaian tersebut, termasuk pemilihan nilai komponen yang akan dipakai. Dalam simulasi ini digunakan Program Circuit Maker 2000. Perlu ditekankan lagi bahwa sensor piezoelektrik dibangun atas komponen material film PVDF dan rangkaian pengondisi sinyal. Material film PVDF dalam pemakaiannya hanya tinggal membentuk sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Sehingga yang diimplementasikan dalam bentuk PCB adalah rangkaian pengondisi sinyalnya.

Gambar 5.4 adalah foto bentuk rangkaian pengondisi sinyal yang dihasilkan dalam rancang bangun ini. Dalam implementasinya dibuat empat buah sensor yang mempunyai bentuk dan karakteristik yang sama. Ini dimaksudkan untuk pengukuran paralel sampai dengan empat buah kanal. Perangkat ini terdiri dari empat buah pengondisi sinyal sebagai masukan bagi material film piezoelektrik. Setelah rangkaian pengondisi sinyal untuk sensor piezoelektrik selesai selanjutnya dilakukan ujicoba rangkaian, yang tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik dan performance dari rangkaian yang sesungguhnya. Hasil percobaan dengan menggunakan signal generator

yang dirangkai secara serial dengan kapasitor (sebagai analogi material piezoelektrik) diberikan pada tabel 5-1. Dari hasil ujicoba ini tampak bahwa watak dari rangkaian pengondisi sinyal sudah seperti yang diharapkan, yaitu sesuai dengan rumusan pada persamaan yang telah diberikan di depan.



Gambar 5.4. Foto rangkaian pengondisi sinyal sensor piezoelektrik

Tabel 5-1: Hasil pengujian pengondisi sinyal sensor piezoelektrik

No.	Vin (volt)	Cin (nF)	Cf (nF)	A (x)	Vout (volt)
1	1,00	1	1	1	0,98
2	1,00	1	1	10	9,73
3	1,00	1	2,2	1	0,45
4	1,00	1	2,2	10	4,48
5	1,00	2,2	1	1	2,19
6	0,50	1	1	1	0,49
7	0,50	1	1	10	4,87
8	0,50	1	2,2	1	0,23
9	0,50	1	2,2	10	2,24
10	0,50	2,2	1	1	1,10

Vin : Amplitudo sinyal input dari signal generator

Cin : Kapasitor input

Cf : Kapasitor *feedback*

A : Faktor penguatan

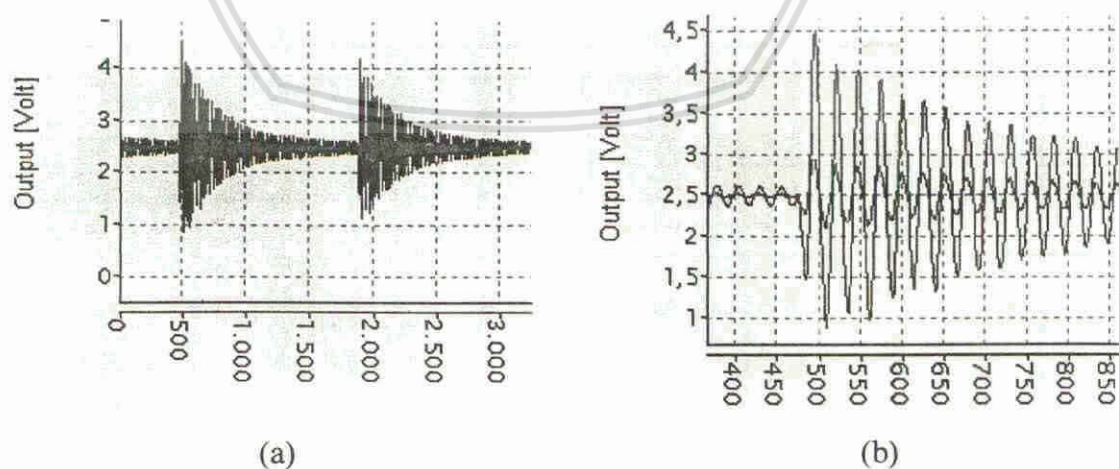
Vout : Amplitudo sinyal output dari pengondisi sinyal

Salah satu contoh aplikasi dalam eksperimen ini adalah pengukuran vibrasi pada cantilever beam dengan menggunakan film piezoelektrik. Bentuk dan susunan eksperimennya diberikan pada gambar 5.5. Pada eksperimen ini dipasang dua film

piezoelektrik pada dua tempat yang berbeda, satu di dekat tumpuan dan satunya lagi pada jarak kurang lebih 5 cm dari tumpuan. Selanjutnya ujung bebas cantilever digerakkan dengan cara dipukul dengan palu (*hammer punch*). Hasil dari eksperimen ini diberikan pada gambar 5.6. Gambar 5.6a merupakan hasil pengukuran untuk dua kali pukulan, sedangkan gambar 5.6b merupakan potongan dari gambar atas yang telah diperbesar. Dari gambar terlihat dua buah sinyal dengan amplitude yang berlainan, dimana amplitude yang kecil menunjukkan sinyal dari film piezoelektrik yang diletakkan pada jarak 5 cm dari tumpuan, sedangkan yang besar merupakan sinyal dari film piezoelektrik yang diletakkan di dekat tumpuan. Hasil ini sesuai dengan teori vibrasi pada cantilever beam.

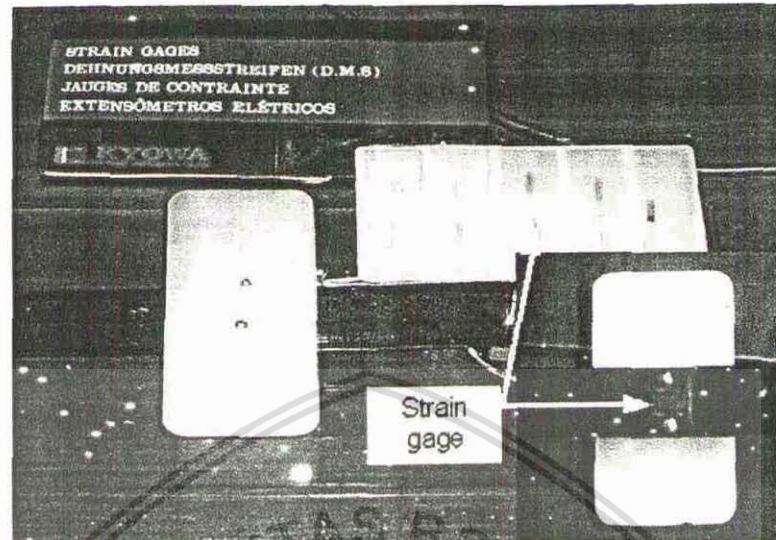


Gambar 5.5 Pengukuran vibrasi pada *cantilever beam*



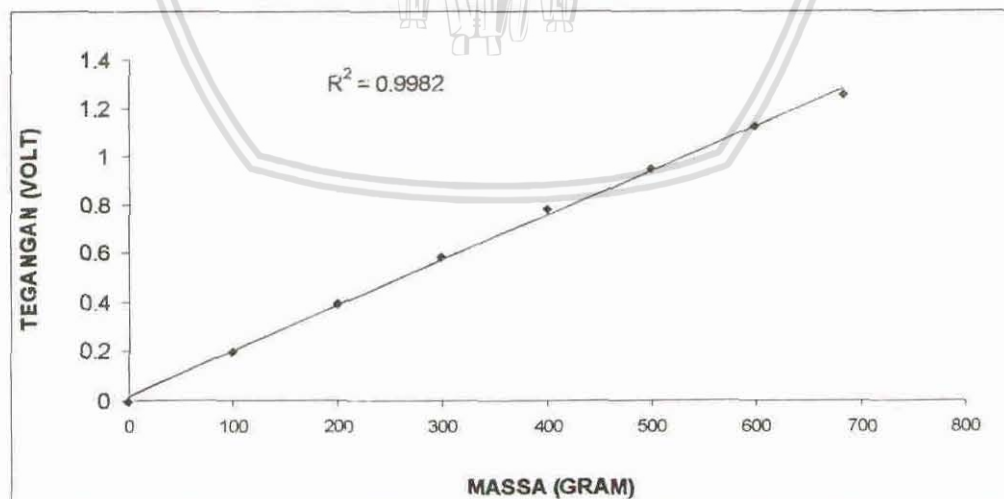
Gambar 5.6 Grafik hasil pengukuran vibrasi pada *cantilever beam*

Jenis sensor yang lain yang telah dibangun adalah sensor beban yang dibangun dengan menggunakan *strain gage*. Foto dari prototipe sensor dan elemen *strain gage* diberikan pada gambar 5.7.



Gambar 5.7 Sensor strain gage

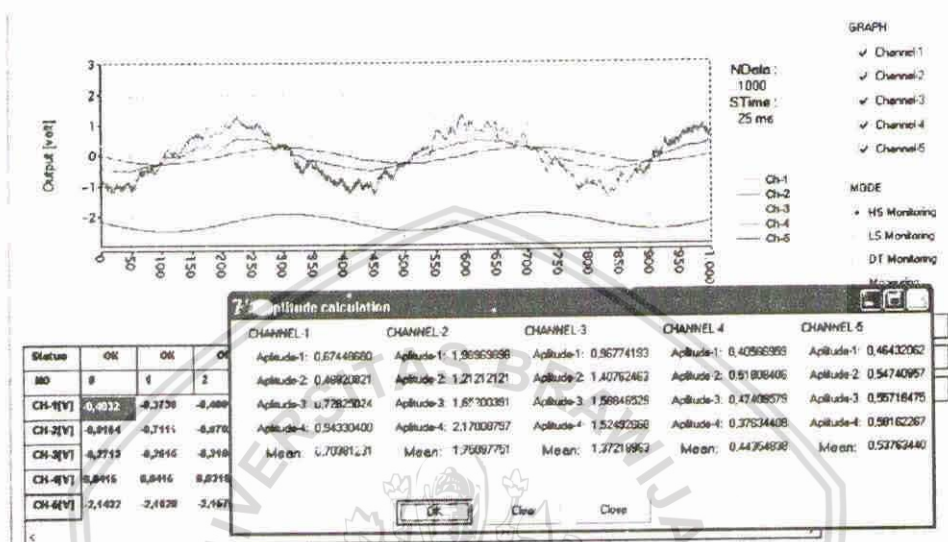
Eksperimen dilakukan untuk mengetahui kinerja dari alat ukur pembebanan yang telah dibangun dengan menggunakan tujuh buah logam sebagai pemberat dan obyek pengukuran. Setelah dilakukan pengukuran dengan alat ukur yang telah dibangun, didapatkan hasil yang dapat dilihat pada grafik pada gambar 5.8.



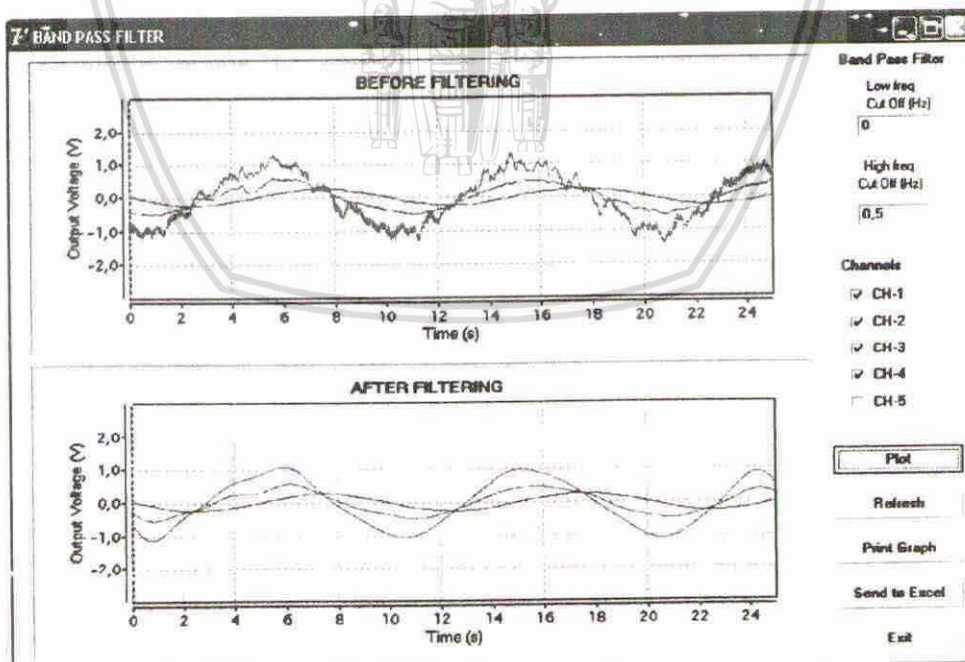
Gambar 5.8. Grafik beban vs tegangan pada sensor strain gage

5.3 Hasil Rancangbangun Software untuk Pemroses Sinyal

Software yang dibangun untuk signal prosesiing meliputi deteksi amplitudo dan filter digital. Gambar 5.9 dan 5.10 menunjukkan hasil-hasil pengujian tersebut. Rancangan software untuk signal processing ini masih belum sempurna dan akan dikembangkan pada tahap/tahun ke-2.



Gambar 5.9. Hasil pengujian software deteksi amplitudo



Gambar 5.10. Hasil pengujian software filter digital

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan sistem instrumentasi otomatis untuk monitoring kesehatan struktur (*structural health monitoring system*, SHM) adalah suatu alternatif positif untuk mengganti metode inspeksi secara visual dan tradisional yang selama ini telah dilakukan. Namun demikian rancangan sistem instrumentasi untuk SHM dalam bentuk yang sederhana, mudah dioperasikan dan berharga murah merupakan tantangan yang besar dan menarik bagi seorang peneliti.

Penelitian ini telah menawarkan suatu prototipe sistem instrumentasi yang dapat digunakan untuk kegiatan monitoring kesehatan struktur (SHM) dalam bentuk yang simpel, mudah dioperasikan dengan harga yang relatif murah. Sistem instrumentasi dibangun berdasarkan jaringan fieldbus multidrop yang sangat cocok untuk pengukuran-pengukuran terdistribusi yang meliputi area yang sangat luas.

Dari hasil ujicoba yang telah dilakukan terhadap keseluruhan sistem instrumentasi yang telah dibangun pada tahap I ini, menunjukkan bahwa sistem telah dapat berjalan dengan baik sesuai yang diharapkan, khususnya pada sistem akuisisi datanya. Sehingga sistem ini siap diterapkan di lapangan yang sesungguhnya.

Agar memenuhi standar dalam pengukuran level vibrasi dan pembebanan pada bangunan struktur, maka harus digunakan sensor vibrasi yang telah terkalibrasi dan terstandarisasi. Untuk itu pada tahun/tahap II hal ini akan dilakukan, termasuk juga pengembangan software untuk signal processingnya. Pembuatan jaringan sistem komunikasi data yang wireless juga akan dilakukan pada tahap berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Omenzetter, J.M.W. Brownjohn, and P. Moyo, *Identification of unusual events in multi-channel bridge monitoring data*, Mechanical system and signal processing, 2004; 18: 409-430.
- [2] P. Sandip, A. Rakshit, *Development of network capable smart transducer interface for traditional sensors and actuators*, Sensor and Actuator A, 2004; 112: 381-387.
- [3] H.V. Auweraer, B. Peeters, *Sensor and systems for structural health monitoring*, J. Structural Control, 2003; 10: 117-125.
- [4] C. C. Peter, F. Alison, S.C. Liu, *Review Paper: Health Monitoring of Civil Infrastructure*, Structural Health Monitoring, 2003; 2(3): 0257-267.
- [5] Alan S Morris, *Measurement & Instrumentation Principles*, Butterworth-Hinemann, Esvier, Great Britain, 2003.
- [6] G. Gautschi, *Piezoelectric Sensorics*, Springer-Verlaag, Berlin Germany, 2002.
- [7] A.H.G. Al-Dhaher, *Integrating hardware and software for the development of microcontroller-based systems*, Microprocessors and Microsystems 2001; 25: 317-328
- [8] B. Miodrag, D. Vujo, S. Branko, *Distributed measurement and control system based on microcontrollers with automatic program generation*, Sensor and Actuator A, 2001; 90: 215-221.
- [9] Anonymous, PIC16F87x, datasheet 28/40-pins 8-bits CMOS Flash Microcontroller, Microchip Technology Inc., 2001.
- [10] Maxim-Dallas Semiconductor, *Using RS-485/RS-422 transceivers in Field bus networks*, Maxim integrated products, available on http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1833

LAMPIRAN I

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PELAKSANA

A. KETUA PELAKSANA

1. Identitas Diri

- a). Nama lengkap dan gelar : Dr.Eng. Didik Rahadi Santoso, M.Si.
- b). Tempat/Tanggal lahir : Jombang, 10 Juni 1969
- c). Jenis Kelamin : Laki-laki
- d). Fakultas/Jurusan : FMIPA/Fisika
- e). Pangkat/Golongan/NIP : Lektor / III-D / 132 086 158
- f). Bidang Keahlian : Instrumentasi dan Pengukuran
- g). Alamat Kantor : Jl. Veteran Malang
- h). Telepon / Fax : 0341-575833
- i). Email : dieks@brawijaya.ac.id
- j). Alamat Rumah : Perum Graha Gardenia J/23 Pakis Malang

2. Riwayat Pendidikan

- a). S1 (Sarjana) : Universitas Brawijaya, Fisika, 1992
- b). S2 (Magister) : Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Fisika Instrumentasi, 1997
- c). S3 (Doktor) : Hiroshima University-Japan, Structural System Engineering, 2005

3. Pengalaman Penelitian

- a). **Santoso, D.R.**, Shintaku, E., *Surface Strain Distribution Measurement by Using Piezoelectric Sensor Array*, Safety and Reliability Research Workshop, 22nd Sept. 2005, Higashi-Hiroshima, Japan
- b). **Santoso, D.R.**, Shintaku, E., Jingxia, Y., *Study on Local Strain Distribution Measurement for Structural Members by Using Piezoelectric Material and Sensor Array*, Journal of The Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers Vol.1 June 2005.
- c). **Santoso, D.R.**, Shintaku, E., Setyanto T., *Surface Strain Distribution Measurement by Using Piezoelectric Sensor Array and Impact Method*, West-Japan Society of Naval Architect 110th meeting, Nagasaki-Japan, 12-13 May 2005.
- d). **Santoso, D.R.**, Shintaku, E., Fujimoto Y., *Development of Instrumentation System for Stress Intensity Factor Measurement using Piezoelectric Material*, Transaction of The West-Japan Society of Naval Architects No.109 March 2005.
- e). **Santoso, D.R.**, Wasis, Acep S., *Design and Making Multivariable-Integrated Digital Radio Telemetric System Based On Microcontroller-PC*, Conference, Brawijaya University, Malang, February 2001).

- f). **Santoso, D.R.,** Wasis, Acep, *Design and Making Digital Radio Telemetric System Based On Microcontroller and PC* (Research report, Physics Dept., Brawijaya University, 2000).
- g). **Santoso, D.R.,** *Multivariable Radio Telemetric System by Using Mapping Technique of Frequency*, Journal Natural FMIPA Unibraw Vol. 4 (2), February 2000.
- h). **Santoso, D.R.,** *Design and Making Instrument System for 4-Channels Multiplexed Long Distance Data Recorder* (Research report, Physics Dept., Brawijaya University, 1999)
- i). **Santoso, D.R.,** Maryanto S., Wasis, *Design Interface and Software for Data Acquisition Systems on Experiment of Seismic Refraction* (Research report, Physics Dept. Brawijaya University, Malang, 1998)
- j). **Santoso, D.R.,** et.al., *Design and Making Ultra Low Impedance Electrometer Based on PC for Biophysics Laboratory* (Research report, Physics Dept. Brawijaya University, Malang, 1998).

4 . Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat

- a). Peningkatan Kualitas Produk Industri Keramik Gerabah Rumah Tangga Melalui Perbaikan Penentuan Komposisi bahan Baku dan Teknologi Pengering, Program Voucher, (2003).
- b). Penerapan Instrumen Pemonitor Suhu Otomatis pada Alat Pembakar Keramik Gerabah Seni Dalam Upaya Mengurangi Cacat Pada Proses Pembakaran, Program Voucher, (2002).
- c). Pembuatan dan Penerapan Alat Pengering Kerupuk Yang Hemat Tempat dan mempunyai Efisiensi Tinggi di Jombang, Program Penerapan IPTEK, 2002
- d). Inovasi Teknologi Pengrajang Tempe Elektro-Mekanis Untuk Meningkatkan Kualitas Dan Kuantitas Produk Industri Kecil Keripik Tempe, Program Penerapan IPTEK (2001).
- e). Pembuatan dan Penerapan Alat Pengering Gerabah untuk Peningkatan Kualitas dan Kuantitas Produk, Program Voucher, (2000).
- f). Visualisasi Konsep Fisika Untuk Mempermudah Proses Pembelajaran Fisika di SMU Madiun, (1999).
- g). Demonstrasi dan pembuatan Alat Praktikum Fisika SMU di kabupaten Jombang (1998)

B. ANGGOTA PELAKSANA

Anggota Pelaksana 1

1. Identitas Diri

Nama : Adi Susilo, Ph.D.
 Tanggal Lahir : 27 Desember 1963
 Tempat Lahir : Malang, Indonesia
 Jenis Kelamin : Laki - laki
 Alamat : Jl. Srigading Dalam, 57 Malang, phone (0341) 487480, HP. 08123302232
 Email: adisusilo@brawijaya.ac.id
 Institusi : Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya
 Phone : 62 341 575833
 Fax : 62 341 554403

2. Riwayat Pendidikan

No	University	Kota/Negara	Tahun Lulus	Bidang Keahlian
1	Univ Gadjah Mada / BSc.	Yogya/ Indonesia	1989	Geophysics (Uji Korelasi antara pasang surut laut, pasang susurt bumi dan gelombang seismik mikro laut di daerah Munthuk, Munthuk, Imogiri, Jogjakarta dan Cilacap tahun 1986)
2	Univ. Gadjah Mada /MSc	Yogya/ Indonesia	1997	Geophysics (Analisis sinyal seismik Gunung api Semeru (Jawa Timur, Desember 1993 – Februari 1994) dengan Dekonvolusi Homomorfik untuk menentukan mekanisme sumbernya)
3	James Cook Univ./PhD	Townsville/ Australia	2004	Geology/Geophysics (Groundwater Flow in Arid Tropical Tidal Wetlands and Estuaries)

3. Publikasi

Susilo, A. (2002). Using crab burrows as a natural piezometers for determining *in-situ* the hydraulic conductivity of mangrove forest sediment. Geophysicist annual meeting of Association of Indonesia Geophysicist, Malang, Indonesia.

Susilo, A (2004) Groundwater flow in arid tropical tidal wetlands and estuaries. Ph.D Thesis in the School of Mathematical and Physical Sciences, James Cook University, pp.152

Susilo, A. and Ridd, P. V. (2005). Comparison between tidally-driven groundwater flow and flushing of animal burrows in tropical mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*

Sunaryo, Susilo, A. and Budiono, H. (2005). Penelitian Energi Volcano-Geothermal pada gunung Arjuna-Welirang menggunakan metode Gravity. *Journal of Natural*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Indonesia.

Susilo, A (2005) A new method in determining bulk hydraulic conductivity of mangrove forest sediment, *Third international conference on River Basin Management*. Wessex Institute of Technology, UK, 2005

Susilo, A. & Ridd, P. V. (2005). The bulk hydraulic conductivity of mangrove soil perforated with animal burrows. *Wetland Ecology and Management* 13: 123- 133

Susilo, A (2005). Physical characteristic of sediments in the mangrove and salt flats. *Jurnal Geofisika*. Indonesian Association of Geophysicist, 2005, 1 : 1 - 6

Susilo, A & Maryanto, S. (2006). Penentuan struktur urat dari Mineral Pirit di desa Bangkong, Gadjahrejo, Gedangan, Malang berdasarkan parameter resistivity (Misc -a-la-mase and Percent frequency effects), Metal factor dan Chargeability dari respon Induced Polarization. Paper diseminarkan di seminar Nasional di Bali, April 14 – 16, 2006

Susilo, A, Wijayakusuma, A dan Maryanto, S. (2007). Analisis Polarisasi 3 Dimensi Tremor dan Gempa Vulkanik Gunung Bromo Untuk Mengetahui Mekanisme Sumbernya. *Jurnal Natural*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya, Indonesia.



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Anggota Pelaksana 2

1. Identitas Diri

- | | |
|----------------------------|---|
| a). Nama | : Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si., MT. |
| b). NIP | : 132 158 724 |
| c). Golongan | : III c |
| d). Alamat | : Bukit Cemara Tidar F3/14 Sukun Malang |
| e). Telp / Hp | : 0341 574791 / 081 233 59 226 |
| f). Tempat, Tanggal Lahir | : Gresik, 19 September 1972 |
| g). Pekerjaan | : Staf Pengajar Program Studi Ilmu Komputer
Jurusan Matematika FMIPA Unibraw |
| h). Jabatan
Informatika | : Sekretaris Program Diploma 3 Manajemen
Dan Teknik Komputer (MITEK) FMIPA Unibraw |

2. Riwayat Pendidikan

- | | |
|-----------|--|
| 1996-1999 | Magister Teknik
Program Studi Teknik Informatika
ITS Surabaya |
| 1990-1995 | Sarjana Sains
Jurusan Matematika – Fakultas MIPA
Universitas Brawijaya |
| 1987-1990 | SMU Muhammadiyah I Gresik |
| 1984-1987 | SMP Negeri Benjeng – Gresik |
| 1981-1984 | SD Muhammadiyah Benjeng – Gresik |

3. Riwayat Penelitian

- Penerapan Algoritma Genetik pada Optimasi Model Penugasan (2005)
- Segmentasi Citra Digital Menggunakan Metode Adaptive Split-and-Merge yang Dimodifikasi (2004)
- Perancangan Struktur Data yang Efisien untuk Pemrograman Analisis Jaringan (2002)
- Pengenalan Pola Obyek Terotasi Menggunakan Probabilistic Neural Network (2002)
- Segmentasi Citra Digital Menggunakan Metode Split-And-Merge yang Dimodifikasi (1999)
- Pemecahan Masalah Antrian dengan Teknik Simulasi (1995).

DRAF ARTIKEL ILMIAH

RANCANG BANGUN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK MONITORING LEVEL VIBRASI DAN PEMBEBANAN (*STRESS*) BANGUNAN STRUKTUR DI BANYAK TITIK SECARA ONLINE

**Didik R. Santoso, M.Si., Dr.Eng.
Adi Susilo, M.Si., Ph.D.
Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si., MT.**

Dibiayai oleh Direktorat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penugasan Penelitian
Desentralisasi Nomor: 320/SP2H/PP/DP2M/III/2008, tanggal 5 Maret 2008

Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
NOPEMBER 2008**

RANCANGBANGUN SISTEM INSTRUMENTASI SEDERHANA DAN MURAH UNTUK SISTEM MONITORING KESEHATAN BANGUNAN STRUKTUR*

DEVELOPMENT OF SIMPLE AND LOW COST INSTRUMENTATION SYSTEM FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEM*

Didik R. Santoso¹, Adi Susilo¹, Wayan F. Mahmudy².

ABSTRACT

In order to keep large-scale civil infrastructure such as long span bridges, ship hulls, aircrafts, and other civil buildings in safe condition, it is important to monitor their health during service. The aim of structural health monitoring (SHM) is to provide periodic or continuous inspections of structural members to get current data about its health. The data can be used for verification if the structure is under a load, behaves unusually, or is damaged. The SHM system covers a broad field that encompasses a number of synergistic technologies that together can provide a system, and then many aspects come to the system. In view of the aspect of instrumentation system, the SHM at least has three main parts; sensor technology, data acquisition topologies, and network architecture. A commercial instrumentation for SHM usually has high complexity and then become very expensive. In this research, a simple and low cost instrumentation system dedicated to the online SHM system has been developed. The system is developed based on fieldbus multidrop network topology with single-master multi-slave architecture. We used standard PC, supported by RS-232 to RS-485 converter as a master device and microcontroller based data acquisition system as a slave device. The software has been made for hardware system driving, and data processing.

Keywords: Structural health monitoring, instrumentation system

*) dibiayai oleh DP2M Dikti melalui Penelitian Hibah Bersaing TA 2008

¹) Program Studi Fisika FMIPA Universitas Brawijaya Malang

²) Program Studi Ilmu Komputer FMIPA Universitas Brawijaya Malang

1. Pendahuluan

Untuk menjaga keberadaan bangunan infrastruktur agar dalam kondisi yang aman, maka harus dilakukan inspeksi dan monitoring bangunan infrastruktur tersebut secara periodik dan terus menerus selama operasi. Tujuannya adalah untuk mendapatkan data-data yang mutakhir tentang kondisi bangunan struktur tersebut, data-data tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan apakah bangunan struktur tersebut masih dalam kondisi yang masih bagus/aman atau tidak [1].

Sistem monitoring kesehatan struktur (*structural health monitoring system, SHM*) melingkupi bidang yang sangat luas. Jika dilihat dari aspek sistem instrumentasinya, sistem SHM paling tidak terdiri atas tiga bagian utama, yaitu teknologi sensor (*sensor technology*), topologi akuisisi data (*data acquisition topology*), and arsitektur jaringan (*network architecture*). Teknologi Sensor berhubungan dengan peralatan penginderaan parameter fisis (*sensing device*). Akuisisi Data berhubungan dengan pencuplikan data, pengkondisian dan pemrosesan sinyal. Arsitektur Jaringan berhubungan dengan bentuk (*style*) jaringan sistem instrumentasi dan bagaimana komunikasi antar anggota-anggota jaringan tersebut dilakukan.

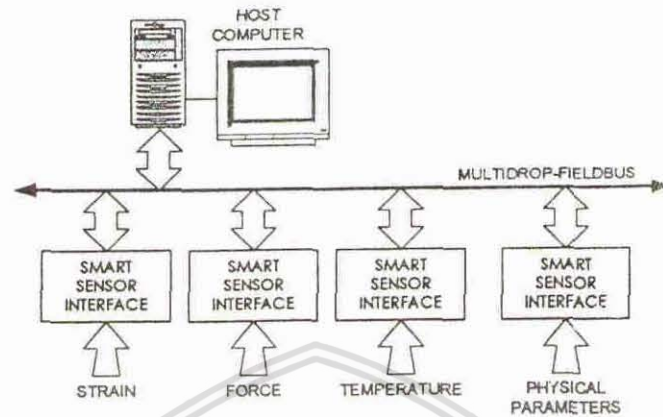
Sistem instrumentasi modern untuk SHM secara komersial umumnya mempunyai kompleksitas yang sangat tinggi sehingga menjadikannya berharga sangat mahal. Hal inilah yang mungkin menyebabkan mengapa di Indonesia kegiatan SHM tergolong kurang begitu mendapat perhatian. Sehingga merancang bangun sistem instrumentasi untuk SHM dalam bentuk yang sederhana dan berharga murah adalah merupakan tantangan bagi peneliti di bidang sistem keamanan struktur.

2. Diskripsi Sistem

Sistem instrumentasi modern untuk SHM umumnya menggunakan sistem terdistribusi, yaitu suatu sistem yang bersifat koneksi terbuka (*open system interconnection*) dan terstandarisasi sehingga memungkinkan bermacam-macam sensor dapat dilingkupi oleh sistem satu payung [2]. Sistem ini sangat *powerfull* untuk pengukuran-pengukuran dan sistem monitoring skala besar (banyak titik). Salah satu keuntungan dari sistem ini adalah mudah untuk dikembangkan, mereduksi dan meratakan pembebanan komunikasi dan sangat mudah untuk pengukuran-pengukuran secara simultan [3,4].

Gambaran umum dari sistem pengukuran terdistribusi modern dapat dilihat pada gambar 1. Sistem dibangun atas modul-modul *smart sensor* yang dilengkapi *network interface* untuk komunikasi dengan jaringan berarsitektur *multidrop fieldbus*. Satu host mengirimkan perintah dan atau data kepada node yang lain yang telah di alamatkan terlebih

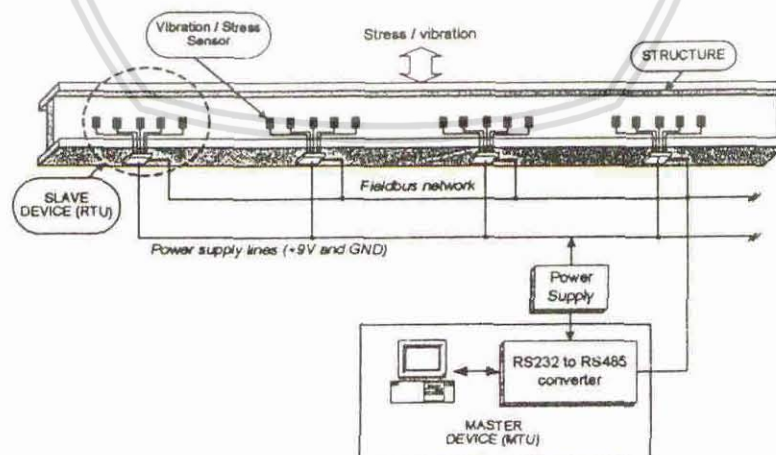
dahulu. Host bisa berupa PC atau *microcontroller-based systems*. Sebuah sistem dengan arsitektur *single master multi slave* mempunyai hanya satu Master dan beberapa Slave. Master sebagai device pengontrol dan slave sebagai modul sensing. Setiap Slave mempunyai alamat tertentu yang unik, sehingga satu alamat hanya bersesuaian dengan satu node slave.



Gambar 1: Gambaran umum sistem pengukuran terdistribusi

3. Perancangan Sistem

Sistem Instrumentasi yang dikembangkan pada penelitian ini adalah seperti dinyatakan pada gambar 2. Sistem dibangun atas modul-modul dan terdiri atas sebuah modul *master*, yang selanjutnya disebut sebagai *master terminal unit (MTU)*, dan beberapa modul *slave*, yang selanjutnya disebut sebagai *remote terminal unit (RTU)*. Komunikasi antara modul MTU dan modul-modul RTU dilakukan dengan menggunakan protokol komunikasi *fieldbus multidrop network RS-485*, yang merupakan jaringan komunikasi *multi point*, yang mampu mengatasi sampai 127 RTU dengan rentang komunikasi sampai dengan 1200m, *halfduplex* maupun *full-duplex* [5]

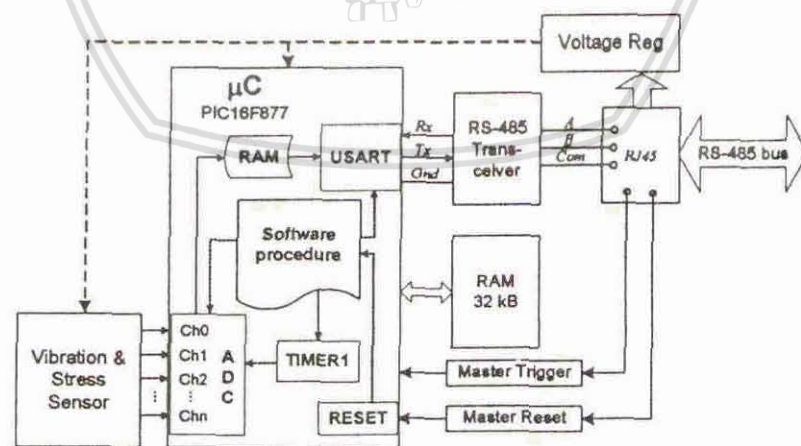


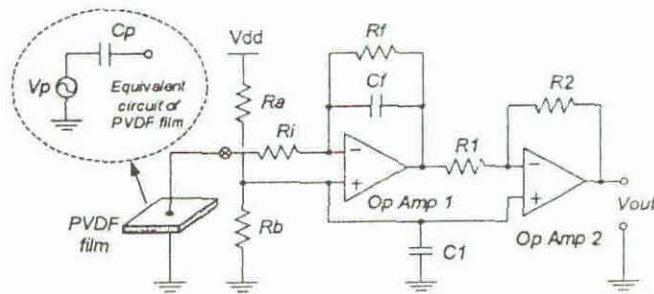
Gambar 2. Rancangan sistem instrumentasi

Dalam rancangan ini, MTU dibuat berbasis PC dengan tambahan *device* antarmuka berupa *RS-232 to RS-485 converter*. *Device* ini diperlukan untuk membuat PC agar dapat digunakan sebagai peralatan komunikasi *multi points*. Sedangkan RTU dibuat berbasis sebuah mikrokontroler PIC 16F877. Pemanfaatan mikrokontroler untuk membangun suatu sistem instrumentasi dewasa ini telah banyak dilakukan, tak terkecuali untuk SHM [6,7]. Implementasi mikrokontroler ke dalam rancangan hardware akan menaikkan kapabilitas dan menyederhanakan sistem yang dibentuk. Keuntungan penggunaan mikrokontroler sebagai komponen utama sistem instrumentasi adalah dimensinya yang kecil, *programable*, *simple*, *reliable* dan harganya yang relative murah.

Perancangan Modul RTU

RTU memegang peranan yang penting pada sistem sebagai unit *sensing*. Modul RTU dapat dibagi menjadi 2 unit fungsi, yaitu: unit akuisisi data (DAQ) dan unit sensor. Unit DAQ dirancang berbasis pada sebuah mikrokontroler PIC16F877 sebagai komponen utamanya, dilengkapi RAM 32kByte dan *network communication interface* (NIC) MAX485E. Sedangkan sensor yang dirancang adalah sensor vibrasi yang dibuat dari bahan piezoelektrik (film PVDF). Pemilihan material piezoelektrik sebagai sensor vibrasi dengan pertimbangan bahwa bahan ini mempunyai *range* frekuensi yang lebar, ringan dan fleksibel sehingga mudah dibentuk. Dan yang lebih penting lagi bahwa sensor vibrasi komersial, khususnya untuk frekuensi rendah, umumnya dibuat dari bahan piezoelektrik. Sehingga kalau ingin digunakan sensor komersial yang sudah terstandarisasi tidak perlu melakukan perubahan pada rangkaian pengkondisi sinyalnya. Gambar 3 menunjukkan rancangan rangkaian modul RTU. Dan gambar 4 adalah rangkaian interface sensor vibrasi piezoelektrik.

**Gambar 3.** Rangkaian Modul RTU



Gambar 4. Rangkaian interface sensor piezoelektrik

Besarnya tegangan output dari rangkaian sensor piezoelektrik pada gambar diatas adalah:

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{C_p}{C_f} \right) V_p + \left(\frac{R_b}{R_a + R_b} \right) V_{dd} \quad (1)$$

Dan frekuensi pancungnya (*cut-off*) diberikan oleh:

$$f_L = \frac{1}{2\pi R_f C_f}, \quad \text{low cut-off frequency} \quad (2)$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi R_{in} C_p}, \quad \text{high cut-off frequency} \quad (3)$$

Untuk $R_a = R_b$ maka didapatkan

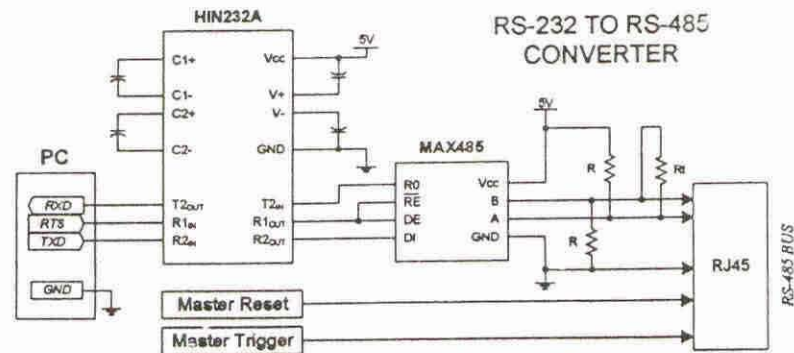
$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{C_p}{C_f} \right) V_p + \frac{V_{dd}}{2} \quad (4)$$

Selanjutnya alur kerja dari RTU dirancang sebagai berikut: Sensor vibrasi mendeteksi adanya vibrasi dan stress pada bangunan struktur, dan mengubahnya menjadi tegangan listrik. Tegangan listrik dari sensor ini dikondisikan oleh pengondisi sinyal pada harga 0-5 volt. Dimana 0 volt menunjukkan vibrasi atau stress minimum dan 5 volt mewakili vibrasi atau stress maksimum. Modul sistem akuisisi data akan mengubah tegangan analog menjadi digital sampai dengan beberapa kanal secara simultan, yang alur kerjanya akan dikontrol sepenuhnya oleh prosedur program yang telah dituliskan/diisikan ke dalam chip mikrokontroler. Untuk komunikasi dengan MTU ditangani oleh NIC MAX485E.

Perancangan modul MTU

MTU adalah unit pengontrol. MTU menangani beberapa hal utama diataranya adalah mengkonfigurasi sistem, memegang aktivitas pengontrolan dan sebagai unit penyimpan dan pengolah data dan juga sebagai unit penampil. Hardware dari modul MTU

adalah sebuah PC standart yang dilengkapi dengan antarmuka *RS-232 to RS-485 converter*. Gambar 5 adalah rancangan rangkaian *RS-232 to RS-485 converter* serta hubungannya dengan port serial PC.



Gambar 5. Rangkaian RS-232 to RS-485 converter

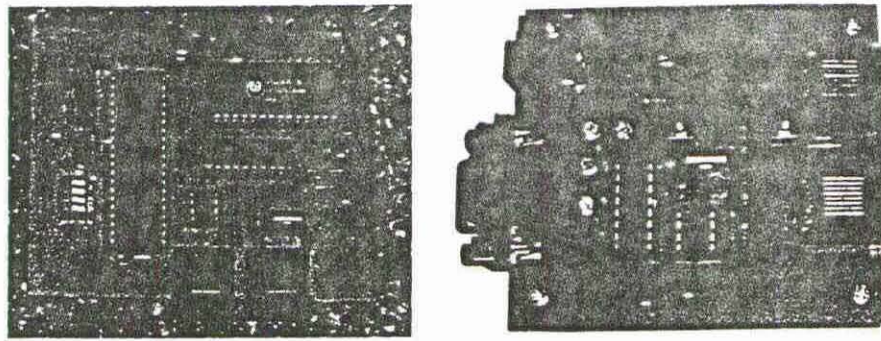
Dalam prosedur komunikasi *halfduplex*, organisasi pengiriman dan penerimaan data harus diatur untuk mengatasi konflik selama komunikasi berlangsung. Sehingga sistem harus mempunyai sebuah driver yang berfungsi untuk mengatur arus data kapan harus mengirim dan menerima. Dalam desain ini, hal ini akan ditangani oleh suatu sinyal RTS dari port serial komputer dan pengontrolannya akan dilakukan oleh program.

Protokol komunikasi MTU-RTU

Dalam prosedur komunikasi fieldbus multidrop, MTU sepenuhnya mengontrol proses komunikasinya. Setiap RTU mempunyai satu alamat tertentu dan hanya merespon perintah yang ditujukan kepadanya. Jika perintah-perintah tersebut bukan untuk dirinya, maka dia akan mengabaikannya.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil rancangan perangkat keras DAQ-RTU diberikan pada gambar 6(a). Perangkat ini disusun atas komponen utama berupa sebuah mikrokontroller PIC16F877, sebuah RAM 32 kB dan sebuah NIC MAX485. Tampak pada gambar sebuah selektor DIP empat kanal (bit) yang berfungsi untuk memilih alamat RTU. Dari kombinasi selektor digital empat bit ini dapat dialamati sampai dengan 16 buah RTU. Gambar 6(b) adalah hasil rancangan rangkaian RS232 to RS485 converter. Pada perangkat ini digunakan konektor DB-9 sebagai konektor sinyal data dan kontrol ke komputer dan konektor RJ-45 untuk konektor sinyal data dan kontrol ke jaringan fieldbus.



Gambar 6. Foto Perangkat (a) DAQ-RTU, (b) RS-232/485 Converter

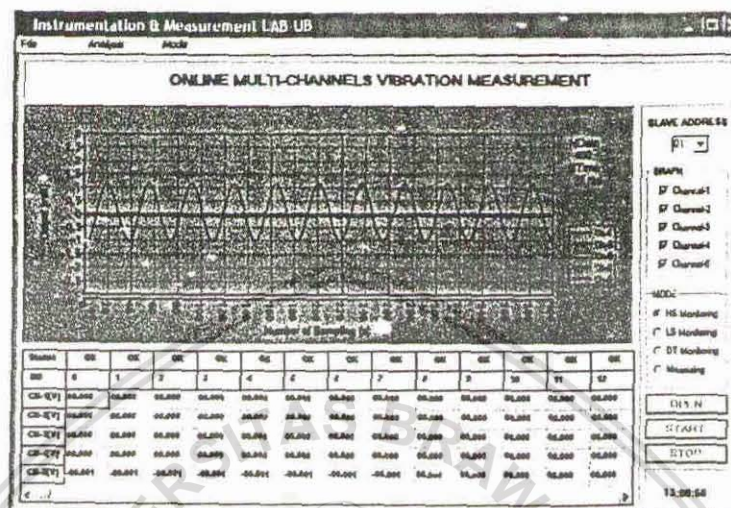
Ujicoba perangkat ini disetup seperti pada gambar 7. Ujicoba perangkat harus dilakukan secara bersama-sama karena keduanya saling melengkapi dan terikat protokol komunikasi satu dengan yang lainnya. Untuk pengujiannya juga diperlukan perangkat lunak bantu yang berfungsi sebagai kontrol perangkat keras dan *user interface*, yang harus diinstal ke komputer.



Gambar 7. Setup pengujian RTU-MTU

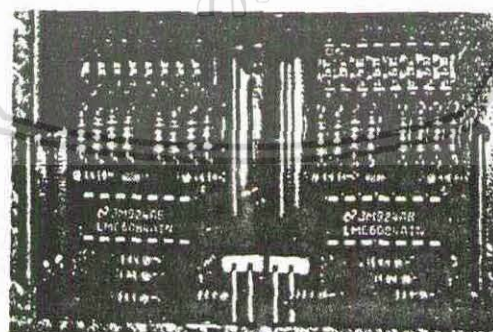
Pengujian dilakukan dengan menggunakan sinyal generator sebagai analogi dari sensor, dan hasilnya langsung ditampilkan ke komputer. Hasil pengujian perangkat ini dengan menggunakan perangkat lunak yang telah dikembangkan diberikan pada gambar 8. Grafik sinyal yang tampak pada gambar tersebut ada lima buah yang menunjukkan pengukuran simultan lima buah masukan analog. Walaupun ada lima masukan analog namun yang digunakan atau dihubungkan dengan sinyal generator hanya satu chanel masukan sehingga sinyal yang nampak hanyalah satu dan yang lain berharga nol. Hal lain yang perlu diperhatikan pada gambar tersebut, yaitu amplitudo sinyal yang berosilasi dari -2,5 volt ke

2,5 volt. Ini adalah merupakan manipulasi software, sebab pada kenyataannya sebuah mikrokontroler tidak pernah bisa mendeteksi tegangan negatif. Metodenya adalah menaikkan level tegangan analog terukur dengan faktor 2,5 volt dengan cara memberikan offset DC pada rangkaian pengondisi sinyal. Jadi jika tegangan yang terukur 0 volt maka keluaran dari pengondisi sinyal adalah 2,5 volt. Jika yang terukur 2,5 volt maka keluarannya adalah 5 volt. Dengan demikian peralatan ini mempunyai range kerja dari -2,5 volt sampai 2,5 volt.



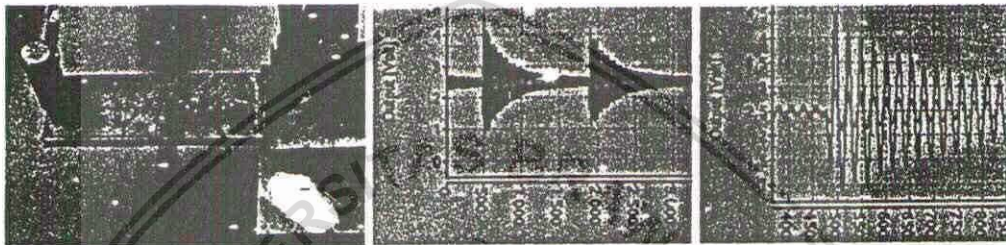
Gambar 8. Display hasil pengujian RTU-MTU

Foto pada gambar 9 adalah hasil rancangan rangkaian pengkondisi sinyal sensor piezoelektrik yang diberikan pada gambar 4. Dalam implementasinya dibuat empat buah rangkaian pengkondisi sinyal yang mempunyai bentuk dan karakteristik yang sama. Ini dimaksudkan untuk pengukuran paralel sampai dengan empat buah kanal. Perangkat ini terdiri dari empat buah pengondisi sinyal sebagai masukan bagi material film piezoelektrik.



Gambar 9. Foto rangkaian pengkondisi sinyal sensor piezoelektrik

Salah satu contoh aplikasi untuk mengetahui performace dari sensor yang dibuat, dilakukan dalam eksperimen pengukuran vibrasi pada cantilevar beam dengan menggunakan film piezoelektrik. Bentuk dan susunan eksperimennya diberikan pada gambar 10. Pada eksperimen ini dipasang dua film piezoelektrik pada dua tempat yang berbeda, satu di dekat tumpuan dan satunya lagi pada jarak kurang lebih 5 cm dari tumpuan. Selanjutnya ujung bebas cantilevar digerakkan dengan cara dipukul dengan palu (*hammer punch*). Hasil dari eksperimen ini diberikan pada gambar disebelahnya. Dari gambar terlihat dua buah sinyal dengan amplitudo yang berlainan, dimana amplitudo yang kecil menunjukkan sinyal dari film piezoelektrik yang dilekatkan pada jarak sekitar 5 cm dari tumpuan, sedangkan yang besar merupakan sinyal dari film piezoelektrik yang dilekatkan didekat tumpuan. Hasil ini sesuai dengan teori vibrasi pada *cantilevar beam*.



Gambar 10. Eksperimen pengukuran vibrasi pada *cantilevar beam*

5. Kesimpulan

Penerapan sistem instrumentasi otomatis untuk monitoring kesehatan struktur (SHM) adalah suatu alternatif positif untuk mengganti metode inspeksi secara visual dan tradisional yang selama ini telah dilakukan. Namun demikian rancangan sistem instrumentasi untuk SHM dalam bentuk yang sederhana, mudah dioperasikan dan murah merupakan tantangan yang besar dan menarik bagi seorang peneliti. Penelitian ini telah menawarkan suatu prototipe sistem instrumentasi yang dapat digunakan untuk kegiatan SHM dalam bentuk yang sederhana, mudah dioperasikan dengan harga yang relatif murah. Sistem instrumentasi dibangun berbasis jaringan fieldbus multidrop yang sangat cocok untuk pengukuran-pengukuran terdistribusi yang meliputi area yang sangat luas. Hasil ujicoba menunjukkan bahwa sistem yang dibangun telah dapat bekerja dengan baik sesuai yang diharapkan, khususnya pada sistem akuisisi datanya. Agar memenuhi standar dalam pengukuran level vibrasi bangunan struktur, maka perlu dilakukan kalibrasi sensor piezoelektrik secara lebih baik. Penggunaan sensor vibrasi komersial yang telah ada di pasaran juga dimungkinkan apabila hal tersebut diinginkan. Pengembangan software untuk

signal processing dan juga integrasi sistem instrumentasi ini pada jaringan internet juga merupakan topik yang menarik untuk dilakukan.

Ucapan terima kasih

Ucapan terimakasih kepada pihak DP2M Dikti yang telah membiayai seluruh kegiatan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Omenzetter, J.M.W. Brownjohn, and P. Moyo, *Identification of unusual events in multi-channel bridge monitoring data*, Mechanical system and signal processing, 2004; 18: 409-430.
- [2] P. Sandip, A. Rakshit, *Development of network capable smart transducer interface for traditional sensors and actuators*, Sensor and Actuator A, 2004; 112: 381-387.
- [3] H.V. Auweraer, B. Peeters, *Sensor and systems for structural health monitoring*, J. Structural Control, 2003; 10: 117-125.
- [4] C. C. Peter, F. Alison, S.C. Liu, *Review Paper: Health Monitoring of Civil Infrastructure*, Structural Health Monitoring, 2003; 2(3): 0257-267.
- [5] Maxim-Dallas Semiconductor, *Using RS-485/RS-422 transceivers in Field bus networks*, Maxim integrated products, available on http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1833
- [6] A.H.G. Al-Dhaher, *Integrating hardware and software for the development of microcontroller-based systems*, Microprocessors and Microsystems 2001; 25: 317-328
- [7] B. Miodrag, D. Vujo, S. Branko, *Distributed measurement and control system based on microcontrollers with automatic program generation*, Sensor and Actuator A, 2001; 90: 215-221.
- [8] Alan S Morris, *Measurement & Instrumentation Principles*, Butterworth-Hinemann, Esvier, Great Britain, 2003.
- [9] G. Gautschi, *Piezoelectric Sensorics*, Springer-Verlaag, Berlin Germany, 2002.
- [10] Anonymous, PIC16F87x data sheet 28/40-pin 8-bits CMOS Flash Microcontroller, Microchip Technology Inc., 2001.

SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN

RANCANG BANGUN SISTEM INSTRUMENTASI UNTUK MONITORING LEVEL VIBRASI DAN PEMBEBANAN (*STRESS*) BANGUNAN STRUKTUR DI BANYAK TITIK SECARA ONLINE

**Didik R. Santoso, M.Si., Dr.Eng.
Adi Susilo, M.Si., Ph.D.
Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si., MT.**

Dibiayai oleh Direktorat Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penugasan Penelitian
Desentralisasi Nomor: 320/SP2H/PP/DP2M/III/2008, tanggal 5 Maret 2008
Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
NOPEMBER 2008**

Penerapan sistem instrumentasi otomatis untuk monitoring kesehatan struktur (SHM) adalah suatu alternatif positif untuk mengganti metode inspeksi secara visual dan tradisional yang selama ini telah dilakukan. Namun demikian rancangan sistem instrumentasi untuk SHM dalam bentuk yang sederhana, mudah dioperasikan dan murah merupakan tantangan yang besar dan menarik bagi seorang peneliti.

Hasil penelitian ini pada tahun I telah menawarkan suatu prototipe sistem instrumentasi yang dapat digunakan untuk kegiatan SHM dalam bentuk yang sederhana, mudah dioperasikan dengan harga yang relatif murah. Sistem instrumentasi dibangun berbasis jaringan fieldbus multidrop yang sangat cocok untuk pengukuran-pengukuran terdistribusi yang meliputi area yang sangat luas.

Walaupun prototipe sistem instrumentasi ini sudah berhasil dibuat, namun masih ada kegiatan yang harus dilaksanakan agar hasil penelitian ini dapat diterapkan di lapangan (sesuai proposal kegiatan yang telah diajukan). Secara garis besar kegiatan-kegiatan tersebut adalah:

1. Melakukan standarisasi sensor vibrasi dan sensor pembebanan dengan sensor komersial yang ada di pasaran.
2. Mengembangkan sistem basis data pengamatan
3. Mengembangkan sistem signal processing agar lebih berdaya guna
4. Mengaplikasikan sistem instrumentasi yang telah dikembangkan tersebut pada kondisi lapangan yang sesungguhnya.

Ke-empat poin kegiatan tersebut akan dilakukan pada tahun ke dua. Rincian kegiatan secara detail diberikan pada proposal kegiatan tahun ke 2.

